



Cinética do consumo de oxigénio e velocidade critica em nadadores

Dissertação elaborada com vista à obtenção do Grau de Mestre em
Treino de Alto Rendimento

Orientador: Professor Doutor Francisco José Bessone Ferreira Alves

Júri:

Presidente

Professor Doutor Francisco Bessone Ferreira Alves

Vogais

Professora Joana Filipa Jesus Reis

Professora Veronica Vleck

Rudi Alexandre Bernardo

2013





Cinética do consumo de oxigénio e velocidade critica em nadadores

Dissertação elaborada com vista à obtenção do Grau de Mestre em
Treino de Alto Rendimento

Orientador: Professor Doutor Francisco José Bessone Ferreira Alves

Júri:

Presidente

Professor Doutor Francisco Bessone Ferreira Alves

Vogais

Professora Joana Filipa Jesus Reis

Professora Veronica Vleck

Rudi Alexandre Bernardo

2013



Dedicatória

Durante alguns anos, as decisões da minha vida foram tomadas sem ter qualquer hipótese de refletir sobre possíveis rumos a seguir, tudo aconteceu muito rápido. Hoje quando olho para trás percebo que toda a pressão imposta, levou-me ao que sou hoje e a escrever esta dedicatória.

Início este texto referindo-me à minha mulher que muito suportou durante estes dois anos de Mestrado, tolerando todos os meus desabafos e crises de stress pelo facto dos planos não estarem a correr com a normalidade exigida. Aqui expresso a minha gratidão e importância do seu apoio.

Aos pais da minha mulher também deixo uma palavra de gratidão por estarem sempre disponíveis para me ajudar naquilo que puderam.

À minha família só posso estar grato por me terem dado a oportunidade de realizar este sonho e alcançar algo que sempre pensei ser inalcançável na minha vida. Tudo o que sou hoje posso agradecer a eles e com especial ênfase à minha irmã mais velha, que desde sempre me ajudou em tudo e me apoiou mesmo quando não concordava com as minhas escolhas. Não posso deixar de referir também um membro recente da minha família, o meu cunhado.

Considero-te como um pai por tudo o que fizeste por mim e pelo que ainda fazes. Bem sei que nunca me pediste nada em troca, mas sabes que estarei sempre pronto para te ajudar no que tiver ao meu alcance.

À minha mãe agradeço todo o esforço realizado para me poder proporcionar uma boa educação e futuro. Apesar de não te encontrares perto de mim sempre te preocupas-te comigo.

Para finalizar quero dedicar este meu trabalho académico a duas pessoas que porventura são as mais importantes da minha vida. A vocês, meus avós, dedico tudo o que fiz até hoje na vida e embora já não possam estar juntos a mim para celebrarem mais um passo que eu dei rumo ao meu futuro, sei que onde se encontram me apoiam e ficam felizes por mim.

Bem hajam a todos e obrigado por tudo.

Agradecimentos

Caros amigos de Mestrado, quero agradecer todo o apoio prestado durante a elaboração desta Dissertação. Todos vós foram importantes para chegar ao final deste capítulo Académico.

Entre os que mais me apoiaram neste momento destaco: o Santos, o Barreto, o Camisão e o Teixeira. Vocês foram realmente uma pedra basilar para não desistir da realização do trabalho depois de todas as adversidades que o rodearam. A vocês um muito obrigado.

Quero agradecer aos atletas envolvidos nas recolhas pela sua disponibilidade para a realização dos mesmos, mesmo quando se encontravam em época de exames. Obrigado pelo vosso esforço e empenho, pois sem ele nada disto era possível. Agradecer ainda ao treinador do Clube Futebol “os belenenses” pela compreensão e despesa dos atletas para as recolhas.

Um especial agradecimento aos coordenadores técnicos das piscinas do Estádio Nacional – Jamor e do complexo de piscinas do Estádio Universitário, por toda a disponibilidade prestada.

Dar uma palavra de apreço ao meu irmão por ter passado um dia inteiro com o equipamento de recolha na piscina, de um lado para o outro. Obrigado.

Sem querer esquecer ninguém agradeço ao Professor Doutor Francisco Alves, por ter aceite ser meu orientador de Mestrado, e pelo facto de ter tido a paciência de me atender mesmo quando não tinha agendado nenhum esclarecimento. Obrigado por tudo e especialmente pelos ensinamentos que me tem transmitido até hoje.

Índice Geral

Índice Tabelas.....	I
Índice Figuras.....	III
Lista de Abreviaturas	IV
Capitulo I – Apresentação do Problema.....	1
1. Introdução	1
Âmbito do Estudo	3
Objectivo do Estudo	4
Hipóteses	4
Pressupostos e Limitações	5
Capitulo II – Revisão da literatura	6
2. Introdução	6
2.1 Potência Critica	7
2.2 Velocidade Critica.....	10
2.3 Capacidade de trabalho anaeróbio (CTA).....	10
3. Cinética do consumo de oxigénio	12
3.1 Definição Cinética Oxigénio	12
3.2 Modelo de caracterização da cinética do consumo de Oxigénio	13
3.4 Fases da cinética do oxigénio	15
3.5 Fisiologia da cinética do oxigénio.....	16
3.6 Défice de oxigénio	18
3.7 Dívida de oxigénio (EPOC).....	18
3.8 Constante Temporal.....	19
3.9 Cinética do oxigénio e a relação com a P_c	21
3.10 Síntese.....	22
Capitulo III - Metodologia	24
3.1 Introdução.....	24
3.2 Seleção da Amostra.....	25
3.3 Caracterização da Amostra	25
3.4 Instrumentos e Equipamento Utilizado	26
3.5 Organização dos procedimentos.....	26
3.6 Métodos de Avaliação.....	27
3.7 Recolha de Dados.....	27
3.8 Análise dos Dados.....	28

3.9 Análise Estatística	30
Capítulo IV – Resultados.....	31
4.1 Apresentação dos Resultados	31
4.2 Análise Estatística	40
Capítulo V	46
5.1 Considerações finais.....	46
Bibliografia	48

Índice Tabelas

Tabela 1 - Valores obtidos de cada atleta presente no estudo, nas variáveis: Idade (anos); Massa (Kg); Altura (cm); Vc200; Vc400; Vc800; Género, Femenino (F), Masculino (M).	25
Tabela 2: Valores médios, e dsvio padrão obtidos: PESSO (kg); Altura (cm); Idade (anos); Limiar ventilatório 2 (L_{v2}); Consumo maximo de oxigénio ($VO_{2máx}$); Consumo de oxigénio no teste quadratico(ΔVO_2); Velocidade aeróbia máxima (Vam); 90% da Velocidade aeróbia máxima (Vam90); Velocidade critica (Vc); Amplitude da fase primária da Cinética (A_1); Atraso temporal da primeira fase da Cinética (td_1); Constante temporal da primeira fase da Cinética (τVO_2); Amplitude da fase secundária da Cinética (A_2); Atraso temporal da segunda fase da Cinética (td_2); Atraso individual do snorkel (AIS).	31
Tabela 3: Valores da Velocidade critica e Capacidade de trabalho aeróbio (Cta) (segundos), calculada através da intercepção-y (metros por segundo) da recta de regressão entre a (d/t), com base nas distâncias 200, 400, 800 para cada atleta; Masculino (M), Femenino (F); Média Feminina (Fmédia); Média Masculina (Mmédia); $y=(Vc)$	34
Tabela 4: Valores obetidos com base nas distâncias 200, 400, 800 metros, para cada atleta, recorrendo ao tempo calculado para as respectivas distâncias pela formula (d/t), convertidos em pontos da FINA (FINA Points-Long Course, 2012); Masculinos (M); Femenino (F), Pontuação para as distâncias (Pontos 200, 400, 800) metros	36
Tabela 5: Valores de velocidade para as distâncias 200, 400, 800, obetidos através da Vam90 (90% Velocidade aeróbia máxima), para atletas Masculinos (M) e Femininos (F), Pontuação para as distâncias (Pontos 200, 400, 800) metros. pela tabela da FINA (FINA Points-Long Course, 2012).....	38
Tabela 6: Coeficiente de correlação de Spearman (ρ) entre a variável pontos velocidade critica 200, 400, 800 (PontosVc200, 400, 800) e a variável pontos a 90% da Vam 200, 400, 800 (Pontos200, 400, 800-Vam90), a Vam90 é (90%	

Velocidade aeróbia máxima), o $p=$ (é referente ao nível de significância de $<0,05$).40

Tabela 7: Coeficiente de correlação de Spearman (ρ) entre a variável τVO_2 (constante temporal) e a variável PontosVc200, 400, 800. $p=$ (é referente ao nível de significância de $<0,05$).42

Índice Figuras

Fig. 1 Representa as fases I, II, III da cinética do oxigénio (Amstrong & Barker, 2009).	16
---	----

Lista de Abreviaturas

ΔVO_2 Cinética do consumo de oxigénio

ΔVO_{2cl} Componente lenta da Cinética do consumo de oxigénio

ΔVO_{2m} Cinética do consumo de oxigénio no musculo

ΔVO_{2p} Cinética do consumo de oxigénio no pulmão

\pm Devio Padrão

A Amplitude

A_2 Amplitude da segunda fase

ADP Adenosina difosfato

AIS Atraso individual snorkel

A_p Amplitude da fase primária

A_{sc} Amplitude da componente lenta

ATP Adenosina trifosfato

CK Creatina cinase

cm Centímetros

CrH_2O Creatina

CTA Capacidade de trabalho anaeróbio

dfO_2 Défice de oxigénio

EEML Estado estacionário máximo de lactato

EPOC Excesso de consumo de oxigénio pós-exercicio

F Feminino

FINA Federação Internacional de Natação

Fmédio Valores médio femininos

h Horas

H⁺ Ião hidrogénio

L litro

Lv₂ Limiar ventilatório 2

M Masculino

m.s⁻¹ Metros por segundo

min Minuto

ml.kg⁻¹.min⁻¹ Mililitros por kilograma por minuto

Mmédio Valores médio masculinos

O₂ Oxigénio

°C Centígrados

P Potência externa média

Pc Potência crítica

PCO₂ Pressão de dióxido de carbono

Pcr Fosfocreatina

Pcr Fosfocreatina

Pi Fosfato inorgânico

PO₂ Pressão de oxigénio

PVam90 Pontos a 90% velocidade aeróbia máxima

PVc Pontos velocidade crítica

Q Débito cardíaco

rho Coeficiente de correlação de Spearman

s Segundos

t Tempo

td Atraso temporal

td₂ Atraso temporal da segunda fase

td_p Atraso temporal da fase primária

td_{sc} Atraso temporal da componente lenta

T_{lim} Tempo de exaustão

V_{am90} 90% da Velocidade aeróbia máxima

V_c velocidade critica

VE/VCO₂ Equivalente ventilatório dióxido de carbono

VE/VO₂ Equivalente ventilatório oxigénio

VO₂ (t) Representa o VO₂ relativo a um dado instante

VO₂ Consumo de oxigénio

VO_{2base} Consumo de oxigénio em repouso

VO_{2máx} Consumo máximo de oxigénio

VT Volume Tidal

τ_p Constante temporal da fase primária

τ_{sc} Constante temporal da componente lenta

τVO₂ Constante temporal da Cinética do consumo de oxigénio.

Capítulo I – Apresentação do Problema

1. Introdução

A necessidade de criar meios de avaliação de desempenho dos atletas, que permitissem aos treinadores recorrer durante o treino, sem que para isso necessitassem de se deslocar a laboratórios ou a adquirir matérias de recolha de informação dispendioso, foi um dos principais objetivos para o desenvolvimento dos modelos matemáticos da potência crítica. Esta relaciona a potência com o tempo e matematicamente define-se como sendo a assíntota da relação hiperbólica potência/tempo.

Tendo como base a potência crítica (P_c), diversos autores derivaram a mesma equação para a velocidade crítica (V_c), na qual os parâmetros avaliados são a distância-tempo ou a relação tempo-velocidade, nomeadamente em modalidades como a natação e a corrida. Partindo da velocidade crítica, o estabelecimento de intensidades de treino pode ser mais efetivo, pois tem como base o melhor tempo até à exaustão para determinada distância. A V_c tem sido associada ao estado estacionário máximo de lactato (ponto máximo de equilíbrio entre a produção e remoção do lactato), permitindo que a velocidade crítica seja um bom indicador de resistência. Contudo, surgem alguns estudos que contradizem a equivalência destes parâmetros, levando à necessidade de mais investigação neste campo.

A cinética do consumo de oxigénio (ΔVO_2) cumpre um papel importante no desempenho dos atletas, sendo cada vez mais investigada e considerada como um parâmetro fisiológico de grande relevância para o desenvolvimento da performance do atleta. A ligação da ΔVO_2 à V_c permite verificar o comportamento do consumo de oxigénio nos domínios de intensidade pesado e severo, visto que é entre estes dois domínios de intensidade que a V_c se encontra.

Quando os exercícios são efectuados nos domínios referidos, há uma variável na fase primária que desempenha um papel importante na evolução do VO_2 , que é a constante temporal da cinética do consumo de oxigénio (τVO_2). Vários investigadores demonstraram que quanto menor for a τVO_2 melhor será o desempenho do atleta e menor será o consumo de energia até ser atingido o estado de equilíbrio metabólico ou o VO_{2max} consoante a intensidade do exercício.

A τVO_2 tem vindo a ser relacionada com a Pc. Os resultados mostraram que atletas treinados em resistência possuem uma τVO_2 reduzida Murgatroyd et al. (2011), Endo et al. (2007), Demarle et al. (2001) e uma Pc melhorada (Jenkins & Quigley, 1992). Contudo os estudos efectuados no sentido de perceber a interação entre a τVO_2 e a Vc, são efectuados em cicloergómetro (eficiência mecânica é semelhante em indivíduos com diferentes géneros, idades e forma desportiva) Murgatroyd et al. (2011) e passadeira rolante (diferenças interindividuais no padrão mecânico fornecem uma influência adicional na acumulação do défice oxigénio) McLaughlin et al. (2010).

Neste contexto considerou-se importante a realização deste estudo, com o objectivo de contribuir para o conhecimento existente sobre o assunto de uma forma mais específica, efetuando a investigação em meio aquático com atletas nadadores. Utilizou-se a Vc (m.s^{-1}), recorrendo ao seu cálculo através de três distâncias, 200, 400 e 800 metros, converteu-se o a Vc em tempo necessário para precorrer cada distância, transformando depois em pontos da escala de valorização FINA (www.fina.org). Através dessa conversão pode-se correlacionar os pontos obtidos em cada distância com a τVO_2 , e verificar se existiam algumas diferenças com os resultados já publicados. O mesmo procedimento foi realizado com as velocidades a 90% da Vam.

Âmbito do Estudo

O âmbito desta investigação é o de fornecer algum contributo aos trabalhos já realizados nesta área de investigação. Sobretudo no que toca ao conhecimento sobre esta temática em nadadores, uma vez que é uma área menos aprofundada devido às limitações inerentes dos protocolos realizados em meio aquático. Uma vez que estes necessitam do máximo empenho dos nadadores para que os resultados sejam o mais fiáveis possível, que a disponibilidade dos atletas seja total, que os treinadores estejam de acordo e um calendário competitivo favorável aos testes.

Objectivo do Estudo

O objectivo deste estudo, foi verificar a existência de associação entre a τVO_2 , a V_c e o desempenho competitivo, em nadadores de nível médio nacional.

Devido à heterogeneidade da amostra, nomeadamente o facto de integrar nadadores de ambos os sexos, os tempos de competição foram transformados em pontos da escala de valorização da FINA (www.fina.org), para, deste modo, se proceder aos cálculos estatísticos adequados.

Hipóteses

De modo a orientar o trabalho a desenvolver no âmbito experimental, foram formuladas várias hipóteses cuja confirmação se esperou ter no final do estudo:

Hipótese I: Existe relação entre os Pontos FINA para o tempo de nado à V_c nas distâncias 200, 400, 800 e os Pontos FINA para o tempo de nado a 90% da V_{am} nas distâncias 200, 400, 800- $V_{am}90$;

Hipótese II: A τVO_2 influencia de forma positiva e significativa os Pontos FINA para o tempo de nado à V_c nas distâncias 200, 400, 800;

Hipótese III: Os Pontos FINA calculados a 90% V_{am} para as distâncias 200, 400, 800 em natação, variam consoante o valores da τVO_2 dos nadadores;

Pressupostos e Limitações

Na presente investigação foram tidas em conta certas limitações que podem o não influenciar os dados recolhidos e as conclusões finais:

- A falta de tempo e disponibilidade para uma segunda recolha de dados com os atletas do estudo e a sua consequente interpretação e comparação com os resultados da primeira recolha.
- Dificuldade em motivar os atletas para cumprirem o protocolo da VC, nomeadamente na distância mais longa (800m), pois a sua motivação para a realização desta distância não era a melhor, o que pode provocar uma falta de empenho e o tempo final realizado para esta distância pode deturpar a marca real que o atleta possui, uma vez que o atleta em caso de competição normalmente realiza um tempo melhor que em treino.
- A necessidade de manutenção do material utilizado para a recolha dos dados
- O apuramento dos nadadores para provas internacionais, tornando a sua disponibilidade reduzida para a realização dos testes.
- A amostra tornar-se reduzida ao longo do estudo devido a fatores externos ao próprio estudo.
- A cedência atempada das instalações para se poderem efectuar as recolhas de dados com os atletas.

Capítulo II – Revisão da literatura

2. Introdução

Neste capítulo ir-se-á proceder à revisão da literatura sobre as temáticas mais importantes a serem abordadas nesta investigação e no final será elaborada um breve síntese de todos os conceitos referidos e feita uma ligação entre conceitos, com o intuito de tornar mais perceptível a finalidade deste trabalho de investigação.

2.1 Potência Crítica

O conceito de potência crítica (Pc) foi desenvolvido e fundamentado com o intuito de fornecer um método não invasivo de medir e avaliar a resistência aeróbia e anaeróbia dos atletas, não necessitando de equipamentos com custos elevados e sem dificuldades metodológicas na estimação de limiares, $\text{VO}_2\text{máx}$ e trabalho anaeróbio.

O conceito de Pc é equacionada como sendo a mais alta quantidade de Potência externa (Velocidade) produzida por um indivíduo, por um período de tempo indeterminado sem que ocorra fadiga e diminuição da capacidade de trabalho, mantendo os níveis de metabolitos sanguíneos equilibrados (Equilíbrio metabólico).

Quando se refere equilíbrio metabólico tem-se como referência dois parâmetros: consumo de oxigénio e lactatémia. Como é sabido, estes dois parâmetros são de grande importância na avaliação da capacidade de desempenho aeróbio, com um foco maior na transição entre os domínios de intensidades pesados e severos Vanhatalo et al. (2011) e Gaesser & Poole (1996), e no modelo tri-paramétrico (Margarida, 1976), pois é nestes domínios que as grandes alterações entre o equilíbrio e desequilíbrio metabólico se verificam. Housh et al. (1991) e Moritani et al. (1981) também referem a importância da relação entre a Pc e os índices de capacidade aeróbios.

A concepção do modelo da Pc é baseado numa relação hiperbólica entre potência externa e tempo até a exaustão, que fornece uma importante informação sobre a capacidade trabalho anaeróbio e um índice de resistência, ou seja, a Pc (Hill et al 1995).

Monod & Scherrer (1965), foram os primeiros a observar uma relação hiperbólica entre potência externa e o correspondente tempo de exaustão num único grupo muscular. Esta relação, quando transformada em total de trabalho realizado, é fornecida pelo produto de $P \cdot t$, que pode ser expressa de forma linear, onde P representa a potência externa e t representa o tempo.

A intercepção na origem desta recta tem o termo de capacidade de trabalho anaeróbio, e o seu declive corresponde à Pc (Morton, 2006).

Hill et al. (1995) descreve relação hiperbólica não linear da relação potência/tempo pela equação:

$$(1) \text{ Tempo} = \text{CTA}/(\text{P}-\text{Pc})$$

Onde P é a potência externa média, Pc é a potência crítica e CTA é a capacidade de trabalho anaeróbio.

Esta relação pode ser manipulada para 2 relações lineares:

O modelo potencia-1/tempo, em que:

$$(2) \text{ P} = (\text{CTA}/t) + \text{Pc}$$

O modelo trabalho/tempo, em que:

$$(3) \text{ Trabalho} = (\text{Pc} * t) + \text{CTA}$$

Para se poderem desenhar as curvas e aceder aos parâmetros da relação potência/duração, realizam-se no mínimo 3 testes de potência constante até à exaustão em dia separados, mas idealmente devem ser realizados 4 ou mais testes. As cargas escolhidas variam entre os 75% e os 105% da potência externa máxima, e têm como objectivo atingir tempos de exaustão entre 2 e 15 minutos, a diferença entre a repetição curta e a longa deve ser de pelo menos 5 minutos (Vanhatalo et al. 2011).

Moritani et al. (1981), descreve 4 pressupostos básicos do modelo hiperbólico:

1. No exercício humano só existem duas componentes de produção de potência: aeróbia e anaeróbia.
2. Reservas anaeróbias são de taxa ilimitada, mas capacidade limitada de trabalho anaeróbio. O parâmetro que o limita é a capacidade de trabalho anaeróbio.
3. Reservas aeróbias apresentam uma capacidade ilimitada de trabalho aeróbio, mas possuem uma taxa limitada pela Pc.
4. A exaustão ocorre com a depleção da capacidade de trabalho anaeróbio.

Morton (2006) e di Pampero (1999) apontam os três mais importantes pressupostos do modelo: (1) O custo energético deve manter-se constante ao longo das intensidades de exercício utilizadas; (2) As reservas anaeróbias devem ser completamente utilizadas durante cada repetição; (3) O consumo de oxigénio atinge instantaneamente níveis máximos para a intensidade de exercício.

Conforme já o tinham notado Whipp & Wasserman (1972), o ponto 3 não é fisiologicamente realista, visto que existe uma τVO_2 da cinética do oxigénio no início de qualquer exercício e na transição dos domínios de intensidade. São necessários um a três minutos para que a cinética do oxigénio alcance um plateau (Morton, 2006).

Segundo Vanhatalo et al. (2011), a Pc pode ser vista sobe duas perspetivas. A primeira é no espectro dos domínios de intensidades e a segunda é no espectro matemático.

No espectro do domínio das intensidades, o trabalho parte de uma base de repouso até à exaustão durante exercícios progressivos incrementais. Estão definidos 3 domínios de intensidade: o primeiro domínio encontra-se abaixo do limiar láctico (Moderado), o segundo domínio aparece quando o limiar láctico é ultrapassado, é onde se encontram o estado estacionário máximo de lactato (EEML) e a Pc (Pesado). O terceiro domínio apresenta um aumento constante da potência externa até se atingir o $\text{VO}_{2\text{máx}}$, ou seja, até á exaustão (Severo).

Na perspectiva matemática, dois ou mais parâmetros definem a relação potência externa (P) e tempo para exaustão (T_{lim}) no domínio severo (Vanhatalo et al. 2011). Com esta perspectiva consegue-se prever o T_{lim} em qualquer potência acima da Pc e também qual a potência externa que deve ser escolhida para se atingir o T_{lim} .

Apesar de todas as definições existentes sobre Pc serem aceites pelos investigadores, a verdade é que a Pc indica meramente o limite inferior do alcance aplicável pelo conceito da Pc. Vanhatalo et al. (2011) e Brickley et al. (2002) referem que o exercício à intensidade da Pc não é mantido além de 30 minutos.

Quando se realiza uma potência externa superior à potência crítica, entra de forma mais pronunciada em funcionamento o metabolismo anaeróbio (uma vez que este se encontra sempre activo mesmo quando o regime de exercício é moderado), que expressa a capacidade total de trabalho que pode ser realizado acima da Pc. A esta variável deu-se o nome de capacidade de trabalho anaeróbio (CTA). Jones et al. (2008) teorizam que trabalho constante acima da Pc, resulta na utilização finita da capacidade de ressíntese de ATP, através de fontes não oxidativas, até a CTA atingir exaustão.

Sugestões que o exercício abaixo da P_c pode ser sustentado por um período infinito, pode ser matematicamente justificado, mas não é claramente um caso real (Vanhatalo et al. 2011).

2.2 Velocidade Crítica

A velocidade crítica (V_c) é definida na base da P_c , ou seja, velocidade máxima que teoricamente pode ser mantida sem exaustão, durante uma corrida ou a nadar. Hill et al. (1999) Wakayoshi et al. (1992) definem a V_c como sendo o limite superior do domínio de intensidade pesado, ou seja, a intensidade mais elevada em que o $\dot{V}O_{2max}$ não é atingido durante um exercício com carga constante e de suficiente duração.

Wakayoshi et al. (1993) verificaram que existia uma boa correspondência entre a V_c e o EEML, ou seja, a partir da determinação da V_c pode-se aceder a parâmetros de performance física sem haver necessidade de recolher amostras sanguíneas. Dekerle et al. (2005) não registam esta correspondência entre EEML e V_c . Os resultados apontam para uma V_c superior ao EEML, e como tal não parece ser representante da máxima velocidade de nado que pode ser mantida por um período de tempo prolongado sem que exista aumento contínuo do lactato sanguíneo. Espada & Alves (2010) confirmam que a V_c sobrestima o EEML, correspondendo os resultados a um domínio de intensidade severo. Contudo são verificadas boas correlações com o OBLA e o Limiar láctico (Wakayoshi et al. 1992b)

O uso do modelo da V_c determinada a partir de tempos de competição, mostrou uma correlação com a $\tau\dot{V}O_2$ da fase primária da cinética do oxigénio, num esforço constante no domínio de intensidade pesado (Alves et al., 2010). A relação distância tempo parece ser uma ferramenta essencial para determinar intensidades de treino, monitorizar efeitos do treino e prever desempenhos (Dekerle, 2005).

2.3 Capacidade de trabalho anaeróbio (CTA)

A energia proveniente da fonte anaeróbia é principalmente retirada de substratos como a fosfocreatina e do glicogénio, com alguma contribuição da fonte aeróbia e reservas de oxigénio no músculo e no sangue venoso. Greenhaff et al. (1993) sugere que a contribuição aláctica no início do exercício é limitada pela quantidade total de creatina armazenada no músculo, bem como pelo ritmo de ressíntese de ATP a partir da Pcr.

A CTA pode ser alterada e é independente da Pc. Estas alterações podem ser efectuadas através da alteração das reservas musculares de fosfocreatina. Miura et al. (1999) e Smith et al. (1998) referem que a suplementação à base de creatina aumenta a CTA, com base na relação potência/tempo. A CTA no entanto parece ser sensível na fase primária à variação da τVO_2 da cinética o oxigénio (Alves et al. 2010). Segundo Ferguson et al. (2007) a realização prévia de exercício de alta intensidade, bem como a depleção de glicogénio (Miura et al. 2000) diminuem a CTA.

3. Cinética do consumo de oxigénio

3.1 Definição Cinética Oxigénio

É importante começar por definir o que se entende pela palavra Cinética. A cinética é o estudo da alteração de uma variável em ordem ao tempo, neste sentido a variável será o oxigénio. Sabendo isto a cinética do consumo de oxigénio (ΔVO_2) permite verificar os mecanismos fisiológicos responsáveis pela dinâmica da resposta do consumo de oxigénio (VO_2) ao exercício e subsequente recuperação (Jones & Poole, 2005).

Perceber como funciona esta dinâmica após a saída de um estado de repouso para um estado de atividade física torna-se necessário, pois quanto mais rápida e eficaz a cinética do consumo de oxigénio for menor será a influência do sistema anaeróbio sobre as reservas de adenosina trifosfato (ATP) do músculo, sobre diminuição da fosfocreatina (Pcr) e utilização das reservas de glicogénio (Jones & Burnley, 2009), mantendo assim a fonte oxidativa como sendo a principal fonte geradora de energia para o trabalho (Jones & Poole, 2005).

O início de atividade física influencia a magnitude do défice de oxigénio (dfO_2) (produção de energia pela fonte anaeróbia, nomeadamente o sistema da Pcr e glicolítico), que se estende até à perturbação da homeostasia sistémica e do músculo (Jones & Poole, 2005). Com o decorrer do esforço contínuo intenso, a eficiência muscular diminui e aparece uma componente lenta para aumentar o VO_2 . Segundo Jones & Burnley (2009) as características que ditam as fases lentas e rápidas da dinâmica do VO_2 e a troca de sistemas energéticos, necessitam de mais investigação, contudo estes recursos influenciam o ritmo a que se instala a fadiga no músculo.

Acima do limiar láctico, em que surge uma componente lenta da cinética do consumo de oxigénio ($\Delta\text{VO}_{2\text{cl}}$) adicional (Gaesser et al. 1992), a $\Delta\text{VO}_{2\text{cl}}$ representa um custo adicional de oxigénio, que é super-imposto na fase primária da ΔVO_2 , e é operacionalmente definida como sendo a diferença entre o VO_2 medido aos 3 minutos durante a carga constante e no final do exercício (Gaesser et al. 1992). A magnitude da $\Delta\text{VO}_{2\text{cl}}$ é elevada com o aumento da intensidade do exercício acima do limiar láctico, este custo pode ser superior a $1\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ durante intensidades severas, e pode levar o VO_2 ao máximo nível de exercício mantido (Gaesser et al. 1992).

Frequentemente esta elevação da ΔVO_{2cl} é associada ao recrutamento e frequência de ativação das unidades motoras. Na situação em que a ΔVO_{2cl} aparece, as unidades motoras que estão mais associadas são as rápidas (Krustrup et al., 2004; Shinohara & Moritani, 1992).

Os recursos dinâmicos da resposta do VO_2 ditam a contribuição relativa do metabolismo oxidativo e não oxidativo para fornecer energia durante o exercício (Jones & Burnley, 2009). Segundo Jones & Poole (2005) o VO_{2max} , o VO_2 em trabalho sub-máximo (eficiência mecânica) e ritmo a que o VO_2 aumenta na transição de uma atividade que necessita de elevada energia para atingir o estado estacionário, influência a tolerância a atividade física. O VO_2 depende de fatores centrais (entrega O_2 nos tecidos) e periféricos (Extração e utilização O_2 pelos tecidos). O tecido com mais interesse para estudar é o do músculo ativo.

Para elevar o VO_2 , os mecanismos de suporte (frequência cardíaca, ventilação pulmonar e catabolismo do lactato), também se elevam assim que se dá início ao exercício, com o objectivo de alcançar um estado estacionário de forma mais rápida e eficaz. O aumento do VO_2 encontra-se ainda influenciado pelo trabalho interno, trabalho externo e eficiência motora. Para que este ofereça uma boa resposta ao exercício estas variáveis necessitam de estar bem aprimoradas.

Posto isto deve ser relevado que a cinética determina a taxa instantânea de energia aeróbia e anaeróbia transferida, a mistura e quantidade de substrato e a duração tolerável de exercício (Burnley & Jones, 2007).

3.2 Modelo de caracterização da cinética do consumo de Oxigénio

A resposta na fase primária da ΔVO_2 é exponencial (Hill et al., 1924). A função exponencial contém uma amplitude (A) e uma constante tempo (τVO_2), que reflete o tempo necessário para se obter 63% da amplitude total da cinética do consumo de oxigénio (Jones & Poole, 2005). A formula exponencial da fase primária é:

$$(1) VO_2(t) = VO_2(b) + A(1 - e^{-(t-TD)/\tau})$$

Em que o $VO_2(t)$ é o VO_2 em qualquer ponto no tempo, $VO_2(b)$ é o VO_2 base antes do início da transição para ritmos de trabalho mais intensos, A é a amplitude de resposta do VO_2 até ao estado estacionário, e $(1 - e^{-(t-TD)/\tau})$ é a função exponencial que

descreve o ritmo a que o VO_2 cresce em direção ao estado estacionário. O (t) é o tempo, TD é o tempo de atraso antes de começar a exponencial e o τ é a constante temporal (Jones & Poole, 2005).

Rossiter et al. (2002, 2000), referem que o aumento exponencial da cinética do consumo de oxigénio pulmonar (VO_{2p}) é o espelho da redução exponencial da fosfocreatina (Pcr) no músculo, uma vez que o atraso no transporte de oxigénio músculo-boca foi contabilizado. Isto sugere que a cinética do consumo de oxigénio no músculo (VO_{2m}), está sobre o controlo de feedback de um ou mais produtos da divisão do fosfato de alta energia (Jones & Poole, 2005).

É importante referir que em situações onde o estado estacionário não se verifica, a relação entre o VO_{2m} e o VO_{2p} é distorcida por 3 fatores: (1) atraso no transporte ente músculo e pulmão, (2) reservas musculares e venosas de O_2 , (3) cinética do débito cardíaco (Jones & Poole, 2005).

É importante quando estamos a recolher dados no terreno que a fase II pulmonar, seja isolada, uma vez que a inclusão da fase I pode confundir os resultados (Whipp et al. 1982).

Muitos investigadores optam por eliminar a fase I, retirando 20s após o início do exercício para isolar a resposta da fase II (Jones & Poole, 2005). Isto deve-se ao fato existir uma dissociação temporal entre o VO_{2m} e o VO_{2p} no início do exercício. Contudo modelos simulados e medições diretas do VO_{2m} usando a formula de Fick durante uma prova de ciclismo demonstraram que o VO_{2m} e a fase primária do VO_{2p} coincidem $\pm 10\%$ (Armstrong & Barker, 2009).

No caso de se querer estudar domínios de intensidade pesados e severos, uma exponencial deve ser adicionada ao calculo, para uma adaptação satisfatória da resposta da ΔVO_2 após a conclusão da fase I (Jones & Poole, 2005) a formula é a seguinte:

$$(2) \text{VO}_2(t) = \text{VO}_2(b) + A_p(1 - e^{-(t_p - \text{TD}_p)/t_p}) + A_s(1 - e^{-(t_s - \text{TD}_s)/t_s})$$

Em que A_p e A_s são as amplitudes do VO_2 componente primária e a componente lenta, TD_p e TD_s são os tempo de atraso antes do início componente primária e da

componente lenta e o τ_p e τ_s são as constantes temporais da componente primária e componente lenta.

Como já foi referido a ΔVO_2 em intensidades pesadas e severas assenta melhor numa exponencial com dois termos do que com um termo, após a fase I estar completa (Barstow & Mole, 1991).

O tempo em que a componente lenta se começa a desenvolver, depende da intensidade do exercício, começa mais cedo a ritmos de trabalho mais intensos nos domínios das intensidades pesadas e severas, mas normalmente aparece 2 minutos após o início do exercício (Burnley et al. 2000).

3.4 Fases da cinética do oxigénio

A cinética do oxigénio presentemente compreende três fase de reposta, na transição de intensidade de exercício (base/moderado).

A fase I possui uma componente cardio-dinâmica. A Fase II é a chamada fase principal ou componente fundamental. A Fase III é o estado estacionário (Burnley & Jones, 2007).

A fase cardio-dinâmica deve-se a um aumento abrupto do retorno venoso através da bomba muscular e ao aumento do fluxo sanguíneo pulmonar expelido pelo ventrículo direito. Reflete o aumento do débito cardíaco (Q) mas não o consumo nos tecidos (Armstrong & Barker, 2009) daí se chamar fase cardio-dinâmica (Burnley & Jones, 2007).

A fase II representa uma aumento abrupto nas variáveis pressão de oxigénio (PO_2), pressão de dióxido de carbono (PCO_2) e rácio respiratório (VE/VO_2 e VE/VCO_2), somando-se o aumento exponencial da ΔVO_2 , dando início a esta fase e levando o VO_2 a atingir o estado estacionário, fase III (Burnley & Jones, 2007).

Contudo deve ser referido que ao comportamento da fase II é adicionada uma componente lenta quando o exercício é realizado no domínio de intensidade pesado/severo. Sendo que quando entra no domínio severo a componente lenta aumenta até ao consumo máximo de oxigénio (VO_{2max}), não existindo estado estacionário, cessando o exercício devido à exaustão.

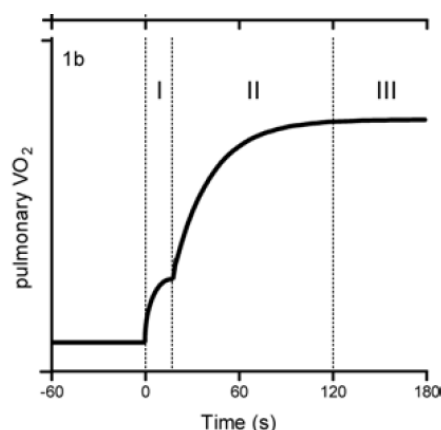


Fig. 1 Representa as fases I, II, III da cinética do oxigênio (Amstrong & Barker, 2009).

3.5 Fisiologia da cinética do oxigênio

Após o início de exercício físico o ritmo de ressintese do (ATP) aumenta nos primeiros segundos. Para prevenir uma redução drástica do ATP no músculo e consequentemente a exaustão, a ressintese de ATP é realizada através da aceleração da reação da Creatina Kinase (CK), que reduz a Pcr no músculo e aumenta o ritmo de produção de energia pela fonte glicolítica, que tem como consequência o aumento do ião H^+ e produção de lactato. Simultaneamente o potencial de fosforilação do músculo é alterado (menos ATP, mais adenosina difosfato (ADP) e fosfato inorgânico (P_i)) e comunicado à mitocôndria que estimula a fosforilação oxidativa e consequentemente o VO_2 aumenta (Jones & Burnley, 2009).

Conforme Jones & Burnley (2009) a fosforilação oxidativa vai depender da diferença entre o VO_2 instantâneo e o VO_2 necessário, assumindo que o atual estado estacionário de ritmo de ressintese de ATP pode ser alcançado pelo fornecimento do mesmo através do metabolismo oxidativo. Em exercícios que o estado estacionário de VO_2 necessário excede o VO_{2max} esta assunção não acontece.

A magnitude do dfO_2 , a contribuição da fosforilação e a continua perturbação da homeostasia, é em função da amplitude de resposta do VO_2 (VO_2 estado estacionário – VO_2 base) e da τVO_2 (descreve o ritmo que o VO_2 aumenta em direção ao estado estacionário)(Whipp & Rossiter, 2005).

Para uma mesma amplitude de $\dot{V}O_2$ e uma $\tau\dot{V}O_2$ menor, resulta num déficit de oxigénio 50% menor que numa $\tau\dot{V}O_2$ maior (Jones & Burnley, 2009). Segundo Burnley & Jones (2007) uma $\tau\dot{V}O_2$ menor, necessita de menor energia anaeróbia na transição repouso/exercício, levando a uma redução do $d\dot{V}O_2$, o que reduz a utilização dos fosfatos de alta energia e do glicogénio.

Uma $\Delta\dot{V}O_2$ rápida impede que a capacidade anaeróbia esgote as reservas de ATP no músculo, a diminuição da Pcr e a utilização das reservas de glicogénio, o que limita a acumulação de metabolitos associados à fadiga (Burnley & Jones, 2007).

A resposta do $\dot{V}O_2$ ao exercício difere de acordo com o domínio de intensidade a que o mesmo é realizado (Burnley & Jones, 2007). Em exercícios de intensidade moderada, a resposta do $\dot{V}O_2$ é essencialmente mono-exponencial (exercício abaixo do limiar láctico/pulmonar). A intensidades superiores (60 a 100% $\dot{V}O_{2max}$) à exponencial inicial é adicionada uma componente lenta da cinética do consumo de oxigénio ($\Delta\dot{V}O_{2cl}$) que eleva o $\dot{V}O_2$ acima do que era esperado para o ritmo de trabalho, isto atrasa o alcance do estado estacionário em intensidades pesadas abaixo da P_c , ou a não atingir o estado estacionário em intensidades severas, acima da P_c (Wilkerson et al. 2004).

Esta $\Delta\dot{V}O_{2cl}$ que aparece nos domínios de intensidade pesado e severo, parece estar ligada à fadiga. Reflete falta de eficiência mecânica muscular (manutenção do mesmo trabalho, necessita de mais energia por tempo, que reflete diminuição da Pcr muscular, e aumento do $\dot{V}O_2$) (Jones et al. 2008), quando o $\dot{V}O_2$ atinge o seu máximo e a Pcr o seu mínimo, ficando o exercício limitado (Jones et al. 2008).

O mecanismo da $\Delta\dot{V}O_{2cl}$ está associado a ativação de fibras musculares com potenciais de ativação elevados. Segundo Pringle et al. (2003), as diferenças na eficiência de contração e a atividade das enzimas oxidativas entre fibras musculares tipo I e tipo II, podem ser responsáveis pela velocidade e amplitude de resposta da $\Delta\dot{V}O_2$.

Estudos passados reportam que em exercício severo uma $\Delta\dot{V}O_{2cl}$ na fase primária é adicionada sobre a base da $\Delta\dot{V}O_2$ e o $\dot{V}O_2$ continua a aumentar até à exaustão e eventualmente leva o $\dot{V}O_2$ até ao $\dot{V}O_{2max}$ (Whipp et al. 1994). Contudo usando a componente lenta do oxigénio, pode ser possível melhorar o $\dot{V}O_{2max}$ por um período mais extenso em que os atletas corram acima da V_c (Billat et al. 2000).

Billat et al. (2000) mencionam que treinar a velocidades entre o limiar anaeróbio e o $\text{VO}_{2\text{max}}$ pode permitir que os indivíduos alcancem o $\text{VO}_{2\text{max}}$ devido a uma componente lenta adicional na cinética do oxigénio.

3.6 Défice de oxigénio

Quando se transita de um estado de repouso para um estado de exercício, o sistema de transporte de oxigénio não tem capacidade de fornecer as quantidades de oxigénio necessário naquele momento aos músculos ativos.

Quando se dá este fenómeno o sistema fica com um dfO_2 , que pode ser calculado através da diferença entre o oxigénio necessário a uma dada intensidade de exercício e o consumo atual de oxigénio (Bailey et al. 2010).

Com o início do exercício as necessidades de ressintese de ATP aumentam. Esta ressintese é feita principalmente através da Pcr (serve principalmente para manter os níveis de ATP, para um fornecimento constante ao músculo) e da fonte glicolítica anaeróbia. A energia fornecida através destas fontes é limitada e provoca grandes desequilíbrios nos sistemas devido á produção de lactato e outros metabolitos.

Quando os desequilíbrios são detectados existe um aumento do VO_2 para repor o equilíbrio no organismo. Jones & Burnley (2009) referem que uma ΔVO_2 rápida, reduz a magnitude do dfO_2 , diminuindo a utilização da Pcr e da fonte glicolítica, o que leva a uma diminuição dos metabolitos produzidos, e espera-se que leve a uma melhor tolerância ao exercício.

3.7 Dívida de oxigénio (EPOC)

Quando se inicia um exercício o VO_2 aumenta para poder suprir as necessidades energéticas dos músculos envolvidos durante esse exercício. Após o exercício terminar o VO_2 não regressa logo aos seus níveis de base, mantendo-se elevado durante um certo período de tempo, dependendo de vários fatores.

O EPOC é o consumo de oxigénio acima dos valores normais de consumo durante o estado de repouso (Wilmore & Costil, 2008). Quando executamos um exercício rápido e com intensidade, imediatamente aumenta a respiração. Terminada essa tarefa verifica-se que só passados alguns minutos ou horas os sistemas voltam ao normal, é durante esse tempo que se dá o EPOC.

Hill et al. (1924) conceberam a hipótese de que um elevado VO_2 após o exercício se devia ao fato de no início do exercício existir uma dívida de oxigénio, que seria paga após o exercício terminar. Relacionaram também o elevado consumo de oxigénio no fim do exercício com a remoção do lactato.

Margarita et al. (1933) modificaram a hipótese de Hill, sugerindo que a dívida de oxigénio era composta por uma componente láctica devido à ressíntese de glicogénio através do lactato. Esta componente foi considerada a componente lenta da dívida de oxigénio.

Gaesser & Brooks (1984) conceberam um termo neutro EPOC (excess post-oxygen consumption), que inclui um consumo de oxigénio mais prolongado após o final do exercício. O EPOC tem duas componentes: uma componente rápida e uma componente lenta.

A componente rápida do EPOC depende de vários fatores e mecanismos associados à recuperação do consumo de oxigénio. Os possíveis mecanismos associados a esta componente são: reposição das reservas de oxigénio no músculo e no sangue, remoção de lactato, ressíntese de ATP e Pcr, aumento da temperatura corporal, circulação e respiração (Børsheim & Bahr, 2003).

A componente lenta do EPOC possui mecanismos menos compreendidos. Vários estudos mostram que existe um aumento do consumo de energia após um exercício prolongado devido à permuta do consumo de substrato energético (hidratos de carbono para lípidos), ressíntese de glicogénio, continuação de hormonas estimulantes na corrente sanguínea, aumento do funcionamento do sistema simpático pós exercício, elevada síntese e ressíntese proteica (Børsheim & Bahr, 2003).

3.8 Constante Temporal

A habilidade de manter exercícios de elevada intensidade depende de quatro variáveis aeróbias: (a) $\text{VO}_{2\text{máx}}$, (b) Limiar anaeróbio, (c) economia motora e (d) τVO_2 (Markovitz, 2004). A τVO_2 no início de um exercício com carga constante, reflete uma variável aeróbia que diminui com o treino e aumenta com doenças cardiorespiratórias (Markovitz, 2004).

O fenómeno da τVO_2 , começou a ser descrito por Margaria et al. (1933). Margaria refere que com o aumento do exercício existe uma transição sem estado estacionário, na qual durante esse período as adaptações metabólicas se ajustam às novas necessidades. Nestes primeiros relatos de Margaria, são reportados valores entre os 35s e os 50s em sujeitos normais e tempos na casa dos 25s para indivíduos altamente treinados.

Matematicamente a τVO_2 descreve o perfil da resposta adaptativa e a resposta cardiovascular e muscular com o aumento do trabalho externo. O ângulo da função exponencial que descreve esta relação e que calcula o $\text{VO}_2(t)$ instantâneo no tempo (t) é :

$$\text{VO}_2(t) = \Delta\tau\text{VO}_2 (1 - e^{(-t/\tau)})$$

O Δ é o aumento do VO_2 no estado estacionário e o τVO_2 é a constante temporal.

Existem algumas controvérsias em relação à τVO_2 da componente primária, no sentido de saber se é mais longa (Paterson & Whipp, 1991) ou se não se modifica (Barstow & Mole, 1991), nas intensidades acima do limiar láctico, comparativamente com intensidades abaixo do limiar láctico.

Uma τVO_2 mais lenta no domínio de intensidade pesado indica uma redução no oxigénio disponível MacDonald et al. (1997) e Peterson & Whipp, (1991). Uma τVO_2 invariante indica que durante um exercício no domínio de intensidade pesado o fornecimento de oxigénio não é limitado e que a cinética muscular é controlada por processos intracelulares (Grassi, 2000).

Melhorias na tolerância à fadiga e performance em ciclismo, corrida e remo, estão associadas a τVO_2 mais curtas (Burnley & Jones, 2007). Quando assim é o dfO_2 é mais pequeno, e a necessidade de energia fornecida pela fonte anaeróbia durante a transição repouso-exercício é reduzida (Burnley & Jones, 2007), bem como a diminuição da utilização dos fosfatos de alta energia no músculo e uma melhoria no tempo até à exaustão (Demarle et al. 2001).

Estudos efectuados recentemente em laboratório, mostram uma tendência para τVO_2 mais lentas em exercícios no domínio de intensidade pesado do que no domínio de intensidade moderado em passeadeira rolante (Carter, et al. 2002). Nos primeiros

estudos efectuados sobre a τVO_2 , nenhum deles mediu a P_c (Carter et al. 2002). Este parâmetro demarca a transição entre o domínio de intensidade pesado e severo Smith & Jones, (2001) e Poole et al. (1988a,). Com este princípio outras interpretações da τVO_2 podem ser tiradas, uma vez que a ΔVO_2 difere marcadamente nestes dois domínios (Pool et al. 1988a)

3.9 Cinética do oxigénio e a relação com a P_c

A forma da relação potência/tempo, pensa-se que se relaciona com as propriedades do sistema aeróbio e anaeróbio (Burnley & Jones, 2007). Desta forma o sistema aeróbio representa a máxima potência externa mantida para um exercício de longa duração, enquanto o sistema anaeróbio molda a curva acima da potência externa sustentada (Burnley & Jones, 2007).

A ΔVO_{2cl} , representa um consumo adicional de oxigénio que aparece no domínio de intensidade pesado, consumindo reservas energéticas (Burnley & Jones, 2007). No exercício severo a ΔVO_{2cl} continua a aumentar até ao VO_{2max} sinalizando o final do exercício pelo aparecimento da exaustão. Como tal Burnley & Jones (2007) sugerem que a ΔVO_{2cl} pode ser o centro da fadiga no domínio de intensidades pesado e severo.

A velocidade a que a ΔVO_{2cl} se desenvolve depende da proximidade da potência externa com a P_c . Quanto maior for a diferença entre a potência externa durante o exercício e a P_c , maior será a ΔVO_{2cl} e menor será a tolerância ao exercício (Burnley & Jones, 2007). Em suma quanto maior for a velocidade externa em relação à P_c do atleta mais amplitude terá a ΔVO_{2cl} .

Em exercício severo acima da P_c o VO_2 sobe ao seu máximo valor e a exaustão aparece (Hill et al, 2002). O tempo de duração neste domínio de intensidade depende de três fatores (Burnley & Jones, 2007): (1) capacidade anaeróbia; (2) VO_{2max} ; (3) ΔVO_{2cl} .

Aumentando o VO_{2max} mantendo os restantes parâmetros inalteráveis, aumenta a oportunidade para a ΔVO_{2cl} se desenvolver aumentando o tempo para a exaustão. Se aumentar a capacidade anaeróbia, aumenta o tempo para a exaustão, aumentando a energia da fonte anaeróbia disponível, permitindo atingir o VO_{2max} . Caso se diminua o ritmo a que a ΔVO_{2cl} se desenvolve, aumenta o tempo necessário para que o VO_{2max} seja atingido (Burnley & Jones, 2007).

Com o que foi descrito acima, e com as referências encontradas na literatura, verifica-se que a P_c tem sido muito correlacionada com a performance em exercícios de resistência (Burnley & Jones, 2007).

A tolerância ao exercício é diretamente ou indiretamente determinada pela ΔVO_2 acima do limiar láctico (Burnley & Jones, 2007). Assim a proximidade da potência externa com o limiar láctico determina se a ΔVO_{2cl} aparece ou não (Burnley & Jones, 2007). Se a potência externa for acima do limiar láctico, a proximidade da potência externa com a P_c determina o comportamento da ΔVO_{2cl} , se a potência externa for acima da P_c , o VO_{2max} interage com a trajetória da ΔVO_{2cl} e a magnitude da capacidade anaeróbia determina a duração tolerável da tarefa (Burnley & Jones, 2007).

3.10 Síntese

Esta revisão permite que se perceba a associação que existe entre a P_c , ΔVO_2 , τVO_2 e ΔVO_{2cl} .

Quando se passa de um estado de repouso para um estado de exercício são notórias as alterações ao nível do VO_2 , o que leva a que exista uma ΔVO_2 que possa explicar como se desenvolve o seu comportamento até atingir um estado estacionário.

Contudo esta análise da ΔVO_2 torna-se mais importante quando o exercício é efectuado no domínio de intensidades pesado e severo, ou seja, entre o patamar do limiar anaeróbio e a P_c e acima da P_c , o qual corresponde à obtenção do VO_{2max} . Isto porque uma ΔVO_{2cl} é adicionada quando o exercício é efectuado nestas zonas.

A P_c é calculada com base em 3 a 4 esforços estabelecidos até à exaustão e consequente tempo final em cada esforço. O esforço deve ser até à exaustão, afim de esgotar a totalidade das reservas energéticas anaeróbias. A associação da P_c à ΔVO_2 , deve-se ao fato de o exercício na intensidade da zona da P_c provocar um comportamento diferente na ΔVO_2 adicionando-lhe uma ΔVO_{2cl} que retarda o estado estacionário, ou se já se encontrar no domínio severo levar à obtenção do VO_{2max} .

Esta ligação leva a que exista a necessidade de se investigar a influência dos vários sistemas no comportamento da ΔVO_2 quando se realizam exercícios nestas intensidades e acima delas, não só para se perceber os seus efeitos mas também para

encontrar métodos e meios de tornar o treino mais eficaz sobre estes parâmetros, permitindo um aumento da Pc e uma diminuição da ΔVO_{2cl} , bem como um aumento da capacidade de trabalho em regime anaeróbio, além de outros parâmetros de relevada importância para o desempenho do atleta.

Tendo como base a Pc diversos autores derivaram a mesma fórmula para uma Vc, na qual os parâmetros avaliados são a distância-tempo ou a relação tempo-velocidade, nomeadamente em modalidades como a natação e corrida. Partindo da Vc o estabelecimento de intensidades de treino pode ser mais efetivo, pois tem como base o melhor tempo até à exaustão para determinada distância. Ao nível da interação com os parâmetros da ΔVO_2 , o comportamento é igual ao da Pc, visto que o único parâmetro de avaliação que se altera é a potência (W) que passa a ser distância (m) ou velocidade (m/s).

Capítulo III - Metodologia

3.1 Introdução

Nesta secção são apresentados de forma detalhada todos os procedimentos metodológicos que farão parte do estudo em causa, tornando o mais explícito possível as opções tomadas em relação aos métodos aplicados, à sua validação e fiabilidade.

Pretende-se neste capítulo apresentar os moldes em que este estudo irá decorrer, bem como a apresentação do seu desenho experimental, instrumentos, seleção da amostra, método de avaliação, procedimentos, análise de dados e análise estatística.

3.2 Seleção da Amostra

A amostra selecionada para recolha de dados deriva de uma população de nadadores dos escalões Júnior (3) e Sénior (3). Foram analisados 6 nadadores, 3 do género masculino e 3 do género feminino. Todos os sujeitos treinam pelo menos oito vezes por semana, e participaram em provas dos campeonatos nacionais nos últimos dois anos. As recolhas de dados foram realizadas com o consentimento dos treinadores e pais dos atletas.

Durante a análise estatística foram utilizados apenas 5 sujeitos da amostra, em que 3 pertenciam ao género feminino e 2 pertenciam ao género masculino. A redução da amostra de 6 para 5 na análise estatística deveu-se ao fato do 6 sujeito da amostra não ter efectuado o protocolo retangular para obtenção da curva da cinética do consumo de oxigénio.

3.3 Caracterização da Amostra

Todos os nadadores pertencentes à amostra foram esclarecidos à priori relativamente a todos os procedimentos do estudo. Os nadadores que fizeram parte deste estudo apresentam os seguintes valores:

Sujeito		Idade	Massa	Altura	Vc200	Vc400	Vc800
Nº	Género	(anos)	(kg)	(cm)	(m.s ⁻¹)	(m.s ⁻¹)	(m.s ⁻¹)
1	F1	16	50	180	1,53	1,41	1,35
2	F2	28	65	175	1,33	1,37	1,31
3	F3	15	50	164	1,44	1,34	1,31
4	M1	17	52	165	1,5	1,4	1,33
5	M2	17	57	168	1,62	1,51	1,4
6	M	20	60	170	1,60	1,53	1,35

Tabela 1: Valores obtidos de cada atleta presente no estudo, nas variáveis: Idade (anos); Massa (Kg); Altura (cm); Vc200; Vc400; Vc800; Género, Femenino (F), Masculino (M).

Dentro desta amostra F1 é uma atleta velocista, F3, M1 e M2 eram meio-fundistas e F2 e M eram fundistas.

3.4 Instrumentos e Equipamento Utilizado

Para a recolha de valores dos sujeitos foram utilizados vários instrumentos. Para a obtenção da Massa corporal foi utilizada uma balança (Seca, *Germany*) com os valores a serem apresentados em quilogramas (kg). A altura dos atletas foi medida através da distância entre o solo e o ponto anatómico mais elevado (Vértex) em centímetros, foi ainda utilizado um cronometro (Waterfly) para obter os tempos da Vc aos 200, 400 e 800 metros no estilo livre.

3.5 Organização dos procedimentos

O estudo foi realizado em 3 fases distintas com os 5 nadadores de competição.

Os nadadores realizaram os testes sempre numa piscina coberta e olímpica, com dimensões de 50 metros comprimento por 25 de largura, e com 9 pistas de competição. Todos os testes foram conduzidos nas mesmas condições ambientais (temperatura do ar: $27,4 \pm 0,4$ C°; temperatura da água: $27,0 \pm 0,1$ °; humidade: $59 \pm 0,9$ %) e entre 13h e as 16h.

Previamente a cada prova de avaliação cardiorrespiratória todos os nadadores efetuaram um aquecimento consoante a necessidade de cada um durante aproximadamente 10 minutos.

Numa primeira fase realizaram-se as recolhas do protocolo de Vc para as distâncias de 200, 400 e 800 metros à maior velocidade possível, simulando a velocidade de nado de uma prova de competição. Cada distância foi realizada em dias não consecutivos, com o intuito de manter a motivação dos atletas para a realização do respetivo protocolo, sem prejudicar o seu desempenho durante o teste e de modo a permitir uma recuperação plena de uma sessão para a outra.

A Vc foi determinada através do modelo distância/tempo, em que o declive da recta de regressão obtida após introdução dos dados, corresponde a essa velocidade (Wakayoshi, et al. 1992b).

Na segunda fase realizou-se um protocolo incremental descontínuo até à exaustão para a obtenção dos valores de consumo máximo de oxigénio ($\text{VO}_{2\text{máx}}$), limiar ventilatório dois (LV_2) e velocidade aeróbia máxima (Vam) (Bentley et al. 2007).

Uma semana depois do protocolo incremental realizou-se a terceira fase que consistiu na realização de um teste retangular (Reis et al. 2012), a 90% VAM para obtenção dos valores para realização da curva da cinética do VO_2 .

3.6 Métodos de Avaliação

A avaliação da Vc teve como base a realização das distâncias solicitadas 200, 400 e 800 à máxima velocidade por parte de cada nadador, no sentido de se obterem os valores o mais aproximados possíveis da realidade de cada um, sem sobrestimar os valores de Vc calculados através da recta de regressão linear distância/tempo.

A avaliação cardiorespiratória foi realizada na segunda fase da sessão de teste, recorrendo a um analisador de gases *breath by breath* (K4b2, Cosmed, Itália), que foi ligado ao nadador através do (Aquatrainer, Cosmed, Itália) Este equipamento é um snorkel respiratório, que possui ligado a si uma mangueira de borracha com uma válvula respiratória no final da mesma. Estes equipamentos foram calibrados de acordo com instruções do fabricante.

Após a recolha, os dados foram suavizados para uma média de 15s, permitindo de uma forma mais simples calcular o $\text{VO}_{2\text{máx}}$, LV_2 e Vam .

A avaliação cardiorespiratória da Cinética do Consumo de Oxigénio foi obtida na sessão de teste da ultima fase, usando o analisador referido no parágrafo anterior. Segundo Reis et, al. (2010), a utilização do snorkel respiratório (Aquatrainer, Cosmed, Itália) para medição e estimação directa do VO_2 na natação, não aparenta modificar ΔVO_2 pelo uso do snorkel.

3.7 Recolha de Dados

Os dados foram obtidos durante a parte final da época 2012, após os Campeonatos Nacionais de Piscina Longa. A atleta F1 ainda participou nos Campeonatos Europeus de Juniores de Piscina Longa.

Cada nadador realizou um teste incremental descontínuo até à exaustão para a obtenção do $VO_{2\text{máx}}$ (calculada através da média dos últimos 30s do penúltimo patamar completo no teste incremental), a V_{am} foi encontrada no penúltimo patamar completo. O teste consistia na realização de uma série de 7x250 metros com o tempo para cada repetição a ser calculado através da melhor marca aos 200 metros livres, somando a esse tempo a média de passagem aos 50 metros, adicionando a esse tempo final 30 segundos. Ao final de cada repetição eram retirados 5 segundos e o intervalo de recuperação entre cada uma foi de 30 segundos.

A opção por este protocolo deveu-se ao facto de patamares (>3) minutos com incrementos de velocidade permitirem obter parâmetros submáximos (limiar anaeróbio) que podem ser quantificado conjuntamente com o $VO_{2\text{máx}}$ (Bentley et al. 2007). Este tipo de protocolo, com um patamar mais longo, pode ser mais sensível à variação da performance durante a competição (Bentley et al. 2007). Recentemente McNaughton et al. (2005), mostram que é possível não existirem diferenças no limiar anaeróbio, quando este é obtido através de um teste incremental com patamares entre os 3 os 5 minutos em ciclistas, em detrimento de patamares mais curtos (<3) minutos.

O teste retangular, foi realizado com uma semana de separação do teste incremental. Este teste consistia na realização de um série de 2x6 minutos (Reis et al, 2011) com uma carga constante, separados entre si com um intervalo de 1 hora. A carga prescrita tinha de ser imposta pelo nadador assim que se dava o início do teste, pois caso isso não acontecesse o teste era imediatamente interrompido.

A carga determinada foi a de 90% V_{am} . Os nadadores ajustavam a sua velocidade à carga prescrita dentro de cada repetição, através de um feedback fornecido por meio acústico a cada 50 metros. As partidas foram efectuadas dentro de água, e as viragem eram abertas sem deslize subaquático.

3.8 Análise dos Dados

A análise dos dados cardiorespiratórios foi realizada através do programa da Cosmed k4 b2, no qual se filtraram e suavizaram os tempos para uma média de 15 segundos e 3 pontos, para se obter um conjunto de dados mais nítidos.

Utilizou-se o Microsoft Excel (Windows) para o cálculo das seguintes variáveis: a) velocidade de nado; b) velocidade crítica; c) construção de séries para cada repetição utilizando o VO_2 e o Tempo.

Recorreu-se ao conversor de pontos da Federação Internacional de Natação (www.fina.org), para converter os tempos da V_c para cada atleta em pontos nas distâncias 200, 400 e 800 metros. O mesmo procedimento foi efectuado, tendo como base a velocidade obtida a 90% V_{am} .

Por fim utilizaram-se Macros do SPSS para: a) obter valor do atraso temporal (t_d); b) obter curva biexponencial para cinética de oxigénio.

As velocidades de nado foram calculadas através da fórmula:

$$v=d/t$$

(v) corresponde à velocidade (ms^{-1}); (d) é a distância em (m) e o (t) representa o tempo em (s), e pela fórmula:

$$v_n = V_{AM} * 90\%$$

(v_n) corresponde à velocidade nado (ms^{-1}); (V_{am}) é a velocidade aeróbia máxima e (90%) é a velocidade de nado que se pretende obter a 90% da V_{am} .

A V_c foi calculada pelo valor obtido na recta de regressão linear ($y = ax + b$).

O (a) corresponde à velocidade que se equipara à V_c (ms^{-1}); (b) corresponde ao valor da ordenada na origem.

O procedimento para obter a curva da cinética iniciou-se com a exportação das séries para o Excel. Foram retirados os valores de tempo (min/seg) e VO_2 ($\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) de cada repetição, sendo colocados cada um em folhas de calculo diferentes. Posteriormente, cada repetição foi alinhada temporalmente e os valores aberrantes retirados. Criou-se um ficheiro para cada atleta com a variável t_0 , nesse ficheiro foram interpolados os dados de cada repetição pertencente a cada atleta. Efetuou-se a média das repetições criando-se apenas uma série para cada atleta, suavizaram-se as séries e colocaram-se na Macro do SPSS para se obterem os valores de cada uma.

Após a Macro fornecer os valores de cada série, retiraram-se os valores de t_d e colocaram-se na Macro biexponencial para se obter a curva da cinética do consumo de oxigénio.

A equação utilizada para obtenção da curva da cinética do oxigénio foi:

$$\dot{V}O_2(t) = \begin{cases} \dot{V}O_{2\text{base}} & \text{for } t < td_p \\ \dot{V}O_{2\text{base}} + A_p \left(1 - e^{-(t-td_p)/\tau_p} \right) & \text{for } td_p \leq t < td_{sc} \quad (\text{primary component}) \\ \dot{V}O_{2\text{base}} + A_p \left(1 - e^{-(td_{sc}-td_p)/\tau_p} \right) + A_{sc} \left(1 - e^{-(t-td_{sc})/\tau_{sc}} \right) & \text{for } t \geq td_{sc} \quad (\text{slow component}) \end{cases}$$

onde o $\dot{V}O_2(t)$ representa o $\dot{V}O_2$ relativo a um dado instante, $\dot{V}O_{2\text{base}}$ representa o $\dot{V}O_2$ repouso (calculado através da media do $\dot{V}O_2$ nos primeiros 30 segundos do ultimo minuto, antes do exercicio se iniciar), td_p , τ_p , A_p representa o atraso temporal, a contante temporal, a amplitude da primeira fase e da componente lenta, respetivamente. O td_{sc} , τ_{sc} , A_{sc} , representam os parâmetros equivalentes à componente lenta (Reis et al. 2012).

3.9 Análise Estatística

O tratamento estatístico foi efectuado, recorrendo ao programa IBM SPSS Statistics 19. Com este programa foi efectuada uma estatística descritiva, onde se utilizaram mediadas de tendência central (média) e de dispersão (desvio Padrão).

Utilizou-se um coeficiente de correlação de Sepearman para verificar a associação entre as diferentes variáveis que se pretendiam avaliar, recorrendo a um nível de significância de $p < 0.05$ (5%).

Capítulo IV – Resultados

4.1 Apresentação dos Resultados

Na tabela seguinte são apresentados os valores médios e desvio padrão (\pm) obtidos nos testes de Vc através do cálculo da Vc pela recta de regressão linear, o $VO_{2\text{máx}}$, ΔVO_2 (consumo de oxigénio médio entre o 2 e o 6 minuto durante o teste retangular, a Vam (velocidade aeróbia máxima), Vam90 (90% Vam), Lv_2 , AIS (atraso individual do snorkel) e os valores obtidos na modelação biexponencial da curva para a cinética do consumo de oxigénio.

Variáveis	Média	Desvio Padrão
Peso (kg)	57,83	5,98
Altura (cm)	170,33	6,153
Idade (anos)	18,83	4,79
Lv_2 (ml.kg⁻¹.min⁻¹)	47,43	10,08
$VO_{2\text{máx}}$ (ml.kg⁻¹.min⁻¹)	50,65	10,97
ΔVO_2 (ml.kg⁻¹.min⁻¹)	35,72	19,45
% VO_2 - ΔVO_2 (ml.kg⁻¹.min⁻¹)	88,30	6,2
Vam (m.s⁻¹)	1,41	0,03
Vam90 (m.s⁻¹)	1,27	0,03
Vc (m.s⁻¹)	1,29	0,02
A_1 (ml.kg⁻¹.min⁻¹)	1962,80	93,35
td_1 (s)	11,60	4,53
τVO_2 (s)	14,26	4,09
A_2 (ml.kg⁻¹.min⁻¹)	222,92	107,23
td_2 (s)	161,80	70,21
AIS (s)	5,00	2,91

Tabela 2: Valores médios, e dsvio padrão obtidos: Pessoa (kg); Altura (cm); Idade (anos); Limiar ventilatório 2 (Lv_2); Consumo maximo de oxigénio ($VO_{2\text{máx}}$); Consumo de oxigénio no teste quadrático(ΔVO_2); Velocidade aeróbia máxima (Vam); 90% da Velocidade aeróbia máxima (Vam90); Velocidade critica (Vc); Percentagem do VO_2 se encontra a cinética obtida (% VO_2 - ΔVO_2); Amplitude da fase primária da Cinética (A_1); Atraso temporal da primeira fase da Cinética (td_1); Constante temporal da primeira fase da Cinética (τVO_2); Amplitude da fase secundária da Cinética (A_2); Atraso temporal da segunda fase da Cinética (td_2); Atraso individual do snorkel (AIS).

Na tabela 2, os valores médios obtidos na Vc para os 200, 400 e 800 metros é de $1,29 \pm 0,02 \text{ m.s}^{-1}$, a VAM apresenta uma velocidade de $1,41 \pm 0,03 \text{ m.s}^{-1}$. A velocidade obtida a 90% VAM foi de $1,27 \pm 0,03 \text{ m.s}^{-1}$. O $\text{VO}_{2\text{máx}}$ foi de $50,65 \pm 10,97 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ e a ΔVO_2 $35,72 \pm 19,45 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$. O Lv_2 foi de $47,43 \pm 10,08 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$. São ainda apresentados os valores médios obtidos através da modelação biexponencial da curva para a cinética do consumo do oxigénio, apresentando para o A_1 $1962,80 \pm 93,35 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$, td_1 $11,60 \pm 4,53 \text{ m.s}^{-1}$, τVO_2 $14,26 \pm 4,53 \text{ s}$, A_2 $222,92 \pm 107,23 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$, td_2 $161,80 \pm 70,21 \text{ s}$ e AIS $5,00 \pm 2,91 \text{ s}$.

Nos resultados apresentados anteriormente, destaca-se uma atleta que apresentou uma τVO_2 com 8,52 s, um valor bastante baixo face aos encontrados por Reis et al. (2010) (2011), (2012), Berguer et al. (2007), Borrani et al. (2001), Ingham et al. (2007), Poole & Jones, (2005), Bentley (2005), Hill (2003), Carter et al. (2000), Margaria et al. (1933) e que pode influenciar os Pvc e os PVam90 na análise feita mais adiante.

O significado de τVO_2 rápidas associam-se a melhores tolerâncias à fadiga e performance em ciclismo, corrida e remo Burnley & Jones (2007), Ingham et al. (2007) e Whipp et al. (2002). Atletas com valores desta natureza costumam apresentar défices de oxigénio baixos, pequenas diminuições dos fosfatos de alta energia e melhoria no tempo até à exaustão (Demarle et al. 2001), com estes parâmetros melhorados, a necessidade de energia anaeróbia durante a transição repouso-exercício é reduzida (Burneley, 2007).

As τVO_2 mais rápidas podem ser também associadas à posição do corpo e músculos envolvidos, uma vez que as τVO_2 parecem ser mais lentas na parte superior do tronco que em exercícios de pernas Bouckaert & Jones, (2002) e Muraki et al. (2004), esta suposição parece dever-se à predominância de fibras tipo II nos membros superiores (Jonhson et al. 1973a).

Em posição de supinação ou pronação são induzidas ΔVO_2 mais lentas, possivelmente devido à redução da perfusão muscular e fluxo sanguíneo Koga et al. (1999) e Egana et al. (2010), contudo o treino da musculatura específica do exercício, tende a adaptar-se à solicitação e a atenuar essa situação, melhorando a ΔVO_2 desse grupo de músculos específicos (Winlove et al. 2010).

A consequência que se espera dos resultados é um melhor desempenho por parte da atleta em nados entre os 3-5 minutos (Reis et al. 2012).

Valores da Velocidade critica e Capacidade trabalho aeróbio		
Género	y (m.s⁻¹)	Cta (m)
F1	1,28	45,19
F2	1,33	40,28
F3	1,28	31,45
Fmédia	1,29	38,97
M1	1,27	23,54
M2	1,30	31,28
M3	1,29	13,42
Mmédia	1,29	32,01

Tabela 3: Valores da Velocidade critica e Capacidade de trabalho aeróbio (Cta) (segundos), calculada através da intercepção-y (metros por segundo) da recta de regressão entre a (d/t), com base nas distâncias 200, 400, 800 para cada atleta; Masculino (M), Feminino (F); Média Feminina (Fmédia); Média Masculina (Mmédia); $y=(Vc)$.

A tabela 3 apresenta a velocidade critica (y), para cada atleta, tendo sido utilizadas apenas três distâncias 200, 400, 800 metros para o cálculo da mesma.

Pode verificar-se que a velocidade média da Vc é 1,29 m.s⁻¹ para ambos os géneros. Whakayoshy et al. (1992) com quatro distâncias 50, 100, 200, 400 metros, obteve uma Vc 1,51 m.s⁻¹. O mesmo autor em (1993) com seis distâncias 50, 100, 200, 400, 800, 1500 metros, apurou uma Vc de 1,44 m.s⁻¹, Dekerle (2004) utilizando quatro distâncias 50, 100, 200, 400 metros, obteve uma média de 1,31 m.s⁻¹, Fernandes (2011) com jovens atletas obteve valores de Vc médios de 1,25 m.s⁻¹ com duas distâncias apenas 200, 800. Segundo Espada & Alves, (2010) nadadores com mais idade apresentam valores de Vc superiores, o que pode justificar as Vc obtidas por Fernandes (2011).

Analisando estes valores percebe-se que a utilização de mais ou menos distâncias pode levar a uma interpretação dos valores obtidos de forma modificada. Wright & Smith (1994), alertam para o facto de não se suprimir uma distância longa no teste (aproximadamente 15 minutos), pois pode levar a uma sobrestimação dos resultados.

Outro factor que parece influenciar os valores de Vc e sobrestimar o limiar anaeróbio, são as distâncias de teste curtas 100, 200, 400 metros Espada & Alves, (2010), Fernandes & Vilas-Boas, (1999), Vilas-Boas et al. (1997), Ikuta et al. (1996), Hill et

al. (1995), Wright and Smith, (1994), Wakayoshi et al. (1993) Wakayoshi et al. (1992b) Wakayoshi et al. (1992a).

Quanto aos valores médios de Cta, o género masculino surge com uma média de 32,01 metros e o género feminino com 38,97 metros. Estes valores aproximam-se dos valores que Whakayoshy et al. (1992a; 1993a) obtiveram dentro de uma variação entre os 17,73 e os 31 segundos. Segundo Bishop et al. (1998) McLellan (1992), Housh (1990), quanto maiores os valores de Cta, menores serão os declives da recta.

A Cta encontrada no género feminino pode dever-se a um tipo de treino intervalado rápido (Jenkins & Quigley, 1993) que promove o seu desenvolvimento e devido a uma provável ingestão de CrH₂O (creatina) que produz um aumento significativo do valor de Cta (Smith et al.1997).

A Cta encontrada no género masculino pode dever-se a um periodo de treino com velocidades de limiar anaeróbio e treino aeróbio, que se correlacionam intimamente com a Vc (Whakayoshi et al. 1992a; 1992b), realização prévia de exercício de alta intensidade (> Pc) Ferguson et al (2007) e Heubert et al. (2005) e pela depleção em glicogénio (Miura et al. 2000). Jenkins & Quigley, (1992) sugerem que devido ao aumento da Vc a Cta decresce.

Pontos FINA com Base na Velocidade Crítica			
Género	Pontos 200	Pontos 400	Pontos 800
F1	377	448	495
F2	423	502	555
F3	377	448	495
M1	271	340	380
M2	291	365	396
M3	284	357	387

Tabela 4: Valores obtidos com base nas distâncias 200, 400, 800 metros, para cada atleta, recorrendo ao tempo calculado para as respectivas distâncias pela fórmula (d/t) , convertidos em pontos da FINA (FINA Points-Long Course, 2012); Masculinos (M); Feminino (F), Pontuação para as distâncias (Pontos 200, 400, 800) metros.

Através da fórmula (d/t) obtiveram-se os tempos para completar cada distância e assim poder converter-se em pontos da escala de valorização FINA (www.fina.org). Os tempos utilizados foram os (y) da tabela nº3 e as distâncias 200, 400, 800 metros. Como se pode verificar na tabela 4, após a obtenção dos tempos, estes foram convertidos em pontos FINA.

Verifica-se que o género feminino apresenta uma pontuação maior para as mesmas distâncias face ao género masculino. Deste modo, pode observar-se que o nível do género feminino se aproxima do nível do género masculino em termos de desempenho nas distâncias escolhidas para a realização do teste.

Os pontos permitem esclarecer que os indivíduos que têm maior pontuação nas diferentes distâncias, são os que apresentam melhor desempenho. Contrariamente, os que têm uma menor pontuação, são os que apresentam menores desempenhos para cada distância. Ao analisarmos a tabela 4 precebemos que F2 e M2 apresentam os melhores desempenhos para cada distância.

Reportando à tabela 3, observamos que F2 apresenta um valor de V_c $1,33\text{m.s}^{-1}$ e uma Cta 40,28 metros, já o M2 apresenta uma V_c de $1,30\text{ m.s}^{-1}$ e uma Cta de 31,28 metros.

Pode-se deduzir destes valores, que o elemento do género feminino terá melhor desempenho em distâncias entre os 100 e os 400 metros, uma vez que apresenta uma Cta elevada. Estes valores sugerem que a atleta recorre à utilização por um período

de tempo superior das fontes de energia anaeróbias, com taxas de metabolização mais elevadas como são os casos da fosfocreatina e do glicogénio, com uma pequena participação da fonte aeróbia (di Prampero, 1999). De referir que a Cta é alterável independentemente da Vc uma vez que para a Cta aumentar só é necessário que as reservas musculares de fosfocreatina aumentem Vanhatalo & Jones, (2009) Miura et al. (2000) Poole et al. (1990).

O elemento masculino terá melhor desempenho em distâncias entre os 400 e os 1500 metros. Como já foi referido anteriormente, o treino com velocidades de limiar anaeróbio e treino aeróbio, correlacionam-se intimamente com a Vc (Whakayoshi et al. 1992a; 1992b), uma Cta mais baixa como foi acima descrito liga-se a Vc mais elevadas. O valor de Cta do género masculino é bastante inferior ao valor do género feminino, pelo que se pode sugerir a prática de distâncias com maior participação aeróbia, da parte do atleta do género masculino.

Pontos FINA com Base na Vam90			
Género	Pontos 200	Pontos 400	Pontos 800
F1	360	427	472
F2	345	407	449
F3	345	407	449
M1	277	349	378
M2	311	391	424
M3	277	349	378

Tabela 5: Valores de velocidade para as distâncias 200, 400, 800, obtidos através da Vam90 (90% Velocidade aeróbia máxima), para atletas Masculinos (M) e Femininos (F), Pontuação para as distâncias (Pontos 200, 400, 800) metros, pela tabela da FINA (FINA Points-Long Course, 2012).

A tabela 5 apresenta os pontos obtidos pelos atletas quando o cálculo (d/t) recorre aos tempos obtidos na velocidade de nado a 90% da Vam (Vam90) e às distâncias 200, 400, 800 metros, para cada atleta. Pode verificar-se, tal como na tabela 4 que o género feminino apresenta pontuações maiores em todas as distâncias, face ao género masculino, quando a velocidade de nado se reporta a 90% da Vam (Vam90).

Ao contrário do demonstrado na tabela 4, quando as velocidade de nado são a 90% da Vam e convertidos em Pontos FINA, verifica-se que no género masculino, o M2 continua a obter melhores desempenhos nas três distâncias a esta intensidade, no entanto no género feminino é F1 que surge com melhores desempenhos nas três distâncias.

Se recorrermos à tabela 2 observamos um valor médio Vam90 de $1,27 \text{ ms}^{-1}$. Já na tabela 3 verifica-mos uma Vc média de $1,29 \text{ m.s}^{-1}$. A Vam90 de $1,27 \text{ m.s}^{-1}$, é ligeiramente inferior à Vc de $1,29 \text{ m.s}^{-1}$, que corresponde a 91% da Vam.

Dekerle et al. (2004) a 88,7% da Vam, obtém uma correspondência a $1,24 \text{ m.s}^{-1}$, na Vc a $1,31 \text{ m.s}^{-1}$ obtém uma correspondência a 92% da Vam, ou seja uma Vam significativamente mais baixa que a Vc. Apesar destes valores os seus resultados mostram a Vc e a Vam como sendo altamente correlacionáveis, $r=0,87$, $p>0,01$.

Billat et al. (1995) apresentam em corredores uma Vc a 86,2% da Vam e acima do limiar láctico a 72,2% da Vam, Housh et al. (1989) verificam uma Vc superior ao

limiar láctico em bicicleta e significativamente inferior à Vam, que contradizem os resultado de Dekerle et al. (2004) e Pepper et al. (1992).

Com os resultados que se obtiveram no estudo, verificam-se Vc superiores à Vam90, que vão de encontro aos resultados obtidos por Espada & Alves, (2010), Dekerle et al. (2004), Billat et al. (1995) Pepper et al. (1992), ratificando que a Vc corresponde entre 80-90% do VO2máx em atletas treinados (Jones & Carter 2000), ou seja, intensidades relativamente mais elevadas que o limiar anaeróbio e limiar ventilatório (Martin & White, 2000).

Dekerle et al. (2005) refrem que a Vc é superior ao estado estacionario máximo de lactato (EEML) apesar de ser um bom preditor de capacidade aeróbia (Wakayoshi et al. 1992a; 1992b), permitindo avaliar a velocidade de nado num regime fisiológico de equilibrio metabólico Barden and Kell, (2009) e Wakayoshi et al. (1993; 1992a). Refere-se ainda que existe uma forte correlação entre o limiar anaeróbio e a Vc.

Segundo Espada & Alves (2010) a determinação directa do EEML continua a ser o procedimento mais preciso para a prescrição do exercício. Estes autores estão ainda de acordo relativamente a outras observações em que a Vc sobre estima o EEML.

4.2 Análise Estatística

Para a análise estatística, recorreu-se ao estudo correlacional entre as variáveis τVO_2 , PontosVc200, 400, 800 (PVc) e τVO_2 , Pontos200, 400, 800-Vam90 (PVam90). Para se efectuar esta correlação utilizou-se o coeficiente de correlação não paramétrico Spearman (ρ).

Variáveis	Pontos200-Vam90	Pontos400-Vam90	Pontos800-Vam90
PontosVc200	0,85*	0,85*	0,85*
<i>p</i> =	0,03	0,03	0,03
PontosVc400	0,85*	0,85*	0,85*
<i>p</i> =	0,03	0,03	0,03
PontosVc800	0,85*	0,85*	0,85*
<i>p</i> =	0,03	0,03	0,03

Tabela 6: Coeficiente de correlação de Spearman (ρ) entre a variável pontos velocidade critica 200, 400, 800 (PontosVc200, 400, 800) e a variável pontos a 90% da Vam 200, 400, 800 (Pontos200, 400, 800-Vam90), a Vam90 é (90% Velocidade aeróbia máxima), o p = (é referente ao nível de significância de $<0,05$).

Para avaliar a natureza da relação existente entre os PVc dos nadadores e os PVam90, calculou-se o Coeficiente de Correlação de Spearman, tendo sido obtido um valor de $\rho=0,85$, $p=0,03$ entre as variáveis em estudo. Dekerle et al. (2004) e Greco et al. (2002) obtiveram uma correlações semelhante, com valores entre ($r=0,85$ e $0,91$) com atletas.

Observa-se que existe uma associação positiva entre os PVc e os PVam90. Além disso esta associação é estatisticamente significativa ($p=0,03$), podendo supor-se que a variação dos PVc pode ser acompanhada de uma variação dos PVam90.

Uma vez que a Vc corresponde entre 80-90% do $\text{VO}_2\text{máx}$ em atletas treinados (Jones & Carter 2000), não representa um estado estacionário sustentável por elevado período de tempo (Brickley et al. 2002), ou seja, é uma intensidade relativamente mais elevada que o limiar anaeróbio e limiar ventilatório (Martin & White, 2000), sem que exista uma depleção progressiva dos fosfatos de alta energia (Jones et al. 2007).

Estes resultados confirmam a hipótese I, ao existir uma correlação positiva e uma associação significativa entre as variáveis PVc e os PVam90. Autores como (Barden and Kell, (2009), Wakayoshi et al. (1993; 1992a) referem que existe uma forte correlação entre o limiar anaeróbio e a Vc, apesar de como já foi referindo anteriormente a Vc ser considerada mais elevada que o limiar anaeróbio. Assim é de supor que a variação dos Pontos da escala de valorização FINA com base na velocidade crítica, seja acompanhada de uma variação dos mesmos com nados a 90% da Vam.

Variáveis	PontosVc200	PontosVc400	PontosVc800
τVO_2	0,05	0,05	0,05
$p=$	0,93	0,93	0,93

Tabela 7: Coeficiente de correlação de Spearman (ρ) entre a variável τVO_2 (constante temporal) e a variável PontosVc200, 400, 800. $p=$ (é referente ao nível de significância de $<0,05$).

À semelhança do procedimento seguido na análise anterior, calcularam-se os coeficientes de correlação de Spearman entre o τVO_2 dos nadadores e os PVc.

Quanto à associação existente entre o τVO_2 e os PVc, encontrou-se um coeficiente de correlação de Spearman de $\rho=0,05$, $p=0,93$. Observa-se assim uma associação positiva baixa entre o τVO_2 e os PVc.

Pressupõe-se que com τVO_2 mais rápidas em alguns atletas da amostra, exista o acompanhamento de um ligeiro aumento dos PVc. Não sendo esta associação estatisticamente significativa $p=0,93$ não se deve afirmar que todos os atletas seguem a mesma tendência. Os resultados de Murgatroyd et al. (2011) mostram que quando a τVO_2 é curta, a Pc é elevada e vice-versa.

Supõe-se que o treino de resistência diminuía a τVO_2 Murgatroyd et al. (2011), Endo et al. (2007) e Demarle et al. (2001) e aumente a Pc (Jenkins & Quigley, 1992), mas não aumenta o $\text{VO}_{2\text{máx}}$. O treino em hipóxia normobárica aguda aumenta a τVO_2 Cleuziou et al. (2003) e Hughson & Kowalchuk, (1995) e reduz a Pc (Whipp et al. 1982). Em hiperóxia normalmente não se refletem alterações na τVO_2 (Hughson & Kowalchuk, 1995), mas existe um aumento da Pc (Whipp et al. 1982).

Patterson & Whipp, (1991) referem que a τVO_2 é mais lenta quando os exercícios são praticados em supra limiar láctico, o que leva a um aumento do consumo de oxigénio quando se atinge o estado estacionário face ao valor abaixo do limiar láctico. Consequentemente o dfO_2 aumenta e lactatémia aumenta, devido à reduzida utilização de oxigénio nos músculos activos.

O recrutamento do tipo de fibras também influencia a Vc e a τVO_2 . Barstow et al. (1996) aponta para o facto de que as fibras tipo I estão associadas a dinâmicas de VO_2 rápidas. Estudos em cicloergómetro mostram que com o aumento da cadência de

pedalagem existe um aumento consequente do recrutamento de fibras tipo II, diminuindo a τVO_2 (Pringle et al. 2003) e aumentando a P_c (Barker, 2006).

Se tivermos em conta os resultados de Murgatroyd et al. (2011), no qual a τVO_2 é relacionado inversamente com a P_c , pode-se deduzir que com o aumento da P_c a τVO_2 diminui e o contrário também acontece.

Esta dedução de correlação, pode resultar da relação comum dos parâmetros fisiológicos (Murgatroyd et al. 2011). Esses parâmetros são a densidade mitocondrial muscular, P_{cr} , regulação da actividade de enzimas aeróbias, densidade capilar, e dinâmica no transporte de oxigénio para manter a pressão de O_2 (Burnley & Jones, 2007). Uma elevada densidade mitocondrial, permite sustentar o fornecimento de elevadas taxas de energia aeróbia, resultando numa elevada P_c (Murgatroyd et al. 2011).

Os resultados obtidos permitem perceber que a τVO_2 associa-se de forma positiva baixa aos PVc , não sendo de forma estatisticamente significativa. Poderá existir um ligeiro aumento dos PVc com τVO_2 mais rápidas, mas só em alguns dos atletas do estudo, uma vez que esse acontecimento não é significativo para se poder afirmar que todos os atletas se associam positivamente à correlação entre o τVO_2 e os PVc .

Sendo assim, este facto suporta a hipótese II, onde se previa que a τVO_2 influênciasse a V_c , embora os resultados não sejam estatisticamente significativos.

Variáveis	Pontos200-Vam90	Pontos400-Vam90	Pontos800-Vam90
τVO_2	-0,56	-0,56	-0,56
$p=$	0,32	0,32	0,32

Tabela 8: Coeficiente de correlação de Spearman (ρ) entre a variável Constante temporal (τVO_2) e as variáveis Pontos-Vam90(90% Velocidade aeróbia máxima), nas distâncias 200, 400, 800.

Outra associação realizada, foi entre a τVO_2 e os PVam90 (90% Vam). Para este ponto realizou-se mais uma vez o calculo do coeficiente de correlação de Spearman entre a τVO_2 dos nadadores e os PVam90.

Obteve-se um coeficiente de $\rho = -0,56$; $p=0,32$. Leia-se assim como sendo um associação negativa elevada. Isto significa que as variáveis variam em sentido contrário. Contudo esta associação não é estatisticamente significativa ($p=0,32$) dai não se poder considerar que todos os atletas sigam a mesma tendência.

A tendência a existir é de proporcionalidade inversa entre as variáveis, ou seja, a τVO_2 e os PVam90 relacionam-se de maneira inversamente proporcional.

A τVO_2 no inicio de um exercicio de carga constante, reflecte uma variável aeróbia, que diminui com o tempo e aumenta com a doença cardiorespiratória (Markovitz, 2004). A habilidade de manter exercicios de elevada intensidade depende de quatro variáveis aeróbias: (1) $\text{VO}_{2\text{máx}}$; (2) Limiar metabolico; (3) Eficiência motora e (4) τVO_2 (Markovitz, 2004).

Existem algumas controvérsias em relação à τVO_2 da componente primária, no sentido de saber se é mais lenta (Paterson & Whipp, 1991) ou se não se modifica (Barstow & Mole, 1991) nas intensidades acima do limiar láctico, comparativamente com intensidades abaixo do limiar láctico.

Uma τVO_2 mais lenta no domínio de intensidade pesado indica uma redução no oxigénio disponível MacDonald et al. (1997) Peterson & Whipp, (1991). Uma τVO_2 invariante indica que durante um exercício no domínio de intensidade pesado o fornecimento de oxigénio não é limitado e que a cinética muscular é controlada por processos intracelulares (Grassi, 2000).

Melhorias na tolerância à fadiga e performance em ciclismo, corrida e remo, estão associados a τVO_2 mais rápidas (Burnley & Jones, 2007), quando assim é o dfO_2 é

mais pequeno, e a necessidade de energia fornecida pela fonte anaeróbia durante a transição repouso-exercício é reduzida (Burnley & Jones, 2007), bem como a diminuição da utilização dos fosfatos de alta energia no músculo e uma melhoria no tempo até à exaustão (Demarle et al. 2001).

Estudos efectuados recentemente em laboratório, mostram uma tendência para τVO_2 mais lentas em exercícios no domínio de intensidade pesado do que no domínio de intensidade moderado em passadeira rolante (Carter, 2002).

Os PVam90 sofrem variações positivas ou negativas, consoante a τVO_2 seja rápida ou lenta, isto apenas em parte dos atletas, pois os resultados não são estatisticamente significativos para se afirmar que todos os atletas reflectem o mesmo resultado.

Face ao exposto e perante a existência de uma relação negativa e não significativa entre a τVO_2 e os PVam90, comprova-se a hipótese III, uma vez que se apura que uma τVO_2 mais lenta é acompanhada pela diminuição dos PVam90.

Capítulo V

5.1 Considerações finais

Após a finalização da análise e discussão dos, importa retirar considerações sobre o estudo efetuado, nomeadamente o que se conseguiu verificar através da correlação entre as variáveis constante temporal, velocidade crítica e nado a 90% da velocidade aeróbia máxima.

1. A variação da velocidade crítica, aparenta fazer variar a velocidade de nado a 90% da velocidade aeróbia máxima e vice versa, ou seja, parecem ser variáveis proporcionais. Supõe-se que quando a velocidade crítica é aumentada ou diminuída, a velocidade aeróbia máxima também sofre alteração sendo esta aumentada ou diminuída;
2. A constante temporal da fase primária da cinética do consumo de oxigénio, parece influenciar a velocidade de nado quando esta se desenvolve à velocidade crítica. Isto permite presumir que: (1) constantes temporais mais rápidas aumentam a capacidade de nado à velocidade crítica; (2) uma elevada taxa de produção de energia aeróbia que permite manter uma velocidade crítica elevada por mais tempo; (3) pressupor que com a diminuição da constante temporal a velocidade crítica também diminui;
3. Uma constante temporal mais lenta na sua progressão indica ser acompanhada por uma diminuição da velocidade de nado a 90% da velocidade aeróbia máxima. Esta assunção leva a uma diminuição da performance do atleta, défices de oxigénio mais elevados na transição repouso-exercício e um consumo de energia anaeróbia aumentado.

Uma vez que já foi referido que a amostra utilizada neste estudo foi reduzida, talvez fosse interessante encontrar mais atletas disponíveis para a realização de um novo estudo, afim de confirmar com mais clareza algumas das considerações que se fazem neste trabalho.

A relação existente entre a velocidade crítica e a constante temporal em nadadores merece uma abordagem mais aprofundada e com uma metodologia nova de avaliação.

Com isto sugere-se, que se efectue uma recolha de dados com analisador de gases para cada distância durante o protocolo para calcular a velocidade critica e testes retangulares em que a velocidade de nado tome como base o valor de velocidade critica obtido através da recta de regressão linear.

Bibliografia

Alves F., Reis J., Vleck V., Bruno P. (2010). Distance-time modeling and oxygen uptake kinetics in swimming. *Med Sci Sports Exerc*, 42(5): 54-31.

Armstrong N. and Barker A., (2009) Oxygen Uptake Kinetics in Children and Adolescents: A Review, *Pediatric Exercise Science*, 21: 130-147.

Bailey, Stephen J., (2010) *O2 Uptake kinetics as a determinant of exercise tolerance*. Tese de Doutoramento, University of Exeter.

Barden J., Kell, R. (2009). Relationships between stroke parameters and critical swimming speed in a sprint interval training set. *Journal of Sports Sciences*, 27(3): 227–235.

Barker T., Poole D., Noble M., Barstow T., (2006) Human critical power oxygen uptake relationship at different pedalling frequencies. *Exp Physiol*, 91: 621–632.

Barstow T., Jones A., Nguyen P., Casaburi R., (1996) Influence of muscle fiber type and pedal frequency on oxygen uptake kinetics of heavy exercise. *J Appl Physiol*, 81: 1642–1650.

Barstow T., Mole P. (1991) Linear and nonlinear characteristics of oxygen uptake kinetics during heavy exercise. *J Appl Physiol*, 71: 2099–2106.

Biggerstaff K., Hill D., Jackson S., and Sams R. (1992) Use of the critical power concept to evaluate anaerobic capacity in swimmers. *Med. Sci. Sports Exerc*, 24: S75.

Billat V., Renoux C., Pinoteau J., Petit B. & Koralsztein P., (1995) Times to exhaustion at 90, 100 and 105% of velocity at VO₂máx (Maximal Aerobic Speed) and critical speed in elite longdistance runners. *Archives of Physiology and Biochemistry*, 103(2): 129-135.

Billat, et al. (2000) Intermittent runs at the velocity associated with maximal oxygen uptake enables subjects to remain at maximal oxygen uptake for a longer time than intense but submaximal runs. *Eur J Appl Physiol* 81: 188-196.

- Billat, et al. (2003) The Concept of Maximal Lactate Steady State A Bridge Between Biochemistry, Physiology and Sport Science. *Sports Med*, 33(6): 407-426.
- Bishop D., Jenkins D., Howard A. (1998) The critical power function is dependent on the duration of the predictive exercise tests chosen. *Int J Sports Med*, 19: 125–129.
- Børsheim, & Bahr (2003) Effect of Exercise Intensity, Duration and Mode on Post-Exercise Oxygen Consumption. *Sports Med.*, 33(14): 1037-1060.
- Brickley G, Doust J., Williams C. (2002). Physiological responses during exercise to exhaustion at critical power. *Eur J Appl Physiol*, 88: 146–151
- Burnley M, Jones A., (2007) Oxygen uptake kinetics as a determinant of sports performance. *Eur J Sports Sci*, 7: 63–79.
- Burnley M., Jones A. (2007) Oxygen uptake kinetics as a determinant of sports performance. *Eur J Sport Sci*, 7: 63–79.
- Cleuziou C., Perrey S., Lecoq A., Candau R., Courteix D., Obert P. (2005) Oxygen uptake kinetics during moderate and heavy intensity exercise in humans: the influence of hypoxia and training status. *Int J Sports Med* 26: 356–362.
- Coats E., Rossiter H., Day J., Miura A., Fukuba Y., Whipp B. (2003) Intensity-dependent tolerance to exercise after attaining $\text{VO}_{2\text{máx}}$ in humans. *J Appl Physiol* 95: 483–490.
- Dekerle J, Pelayo P, Clipet B, Depretz S, Lefevre T, Sidney M. (2005). Critical swimming speed does not represent the speed at maximal lactate steady state. *Int J Sports Med*, 26: 524-30.
- Dekerle J. (2006) The use of Critical Velocity in Swimming. A place for Critical Stroke Rate. *Human Movement Studies Laboratory, University of Lille 2, France, Chelsea School, University of Brighton, United Kingdom*
- Demarle A., Slawinski J., Laffite L., Bocquet V., Koralsztejn J., Billat V. (2011) Decrease of O_2 deficit is a potential factor in increased time to exhaustion after specific endurance training. *J Appl Physiol*, 90: 947–953.

di Prampero P., Ferriti G. (1999) The energetics of anaerobic muscle metabolism: a reappraisal of older and recent concepts. *Respir Physiol* 118: 103–115.

Endo M., Kobayakawa M., Kinugasa R., Kuno S., Akima H., Rossiter H., Miura A., Fukuba Y. (2007) Thigh muscle activation distribution and pulmonary VO_2 kinetics during moderate, heavy, and very heavy intensity cycling exercise in humans. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 293: 812–820.

Espada M., Alves F. (2010). Critical velocity and the velocity at maximal lactate steady state in swimming. In Per-Ludvik Kjendlie, Robert Keig Stallman and Jan Cabri (Eds) *Biomechanics and Medicine in Swimming XI* (194-196) Oslo: Norwegian School of Sport Science.

Faria E., Parker D., Faria I., (2005) The science of cycling: physiology and training. Part 1. *Sports Med.* 35: 285-312.

Ferguson C., Whipp B., Cathcart A., Rossiter H., Turner A., Ward S. (2007). Effects of prior very-heavy intensity exercise on indices of aerobic function and high-intensity exercise tolerance. *J Appl Physiol*, 103(3): 812-22.

Gaesser G., Carnevale T., Garfinkel A, et al. (1995) Estimation of critical power with nonlinear and linear models. *Med Sci Sports Exec.* 27: 1430-8.

Gaesser G., Cooper R., and Wilson L. (1992) Blood [lactate] and “excess” O_2 uptake during high-intensity cycling at slow and fast cadences. *Physiologist*, 35-210.

Gaesser G., Poole D. (1996) The slow component of oxygen uptake kinetics in humans. In: Holloszy JO (Ed), Exercise and sport sciences reviews. Williams & Wilkins, Baltimore, MD, 35-70.

Gaesser G., Brooks GA. (1984) Metabolic bases of excess exercise oxygen consumption: a review. *Med Sci Sports Exerc.* 16 (1): 29-43.

Grassi B. (2000) Skeletal muscle VO_2 on-kinetics: set by O_2 delivery or by O_2 utilization? New insights into an old issue. *Med Sci Sports Exerc.* 32: 808–116.

Grassi B. (2000) Skeletal muscle VO_2 on-kinetics: set by O_2 delivery or by O_2 utilization? New insights into an old issue. *Med Sci Sports Exerc.* 32(1):108-16.

- Greenhaf P., Casey A, Short A., Harris R., Soederlund K., Hultman, E. (1993) Influence of oral creatine supplementation on muscle torque during repeated bouts of maximal voluntary exercise in man. *Clin Sci* 84: 565-571.
- Greenhaa P., Constantin-Teodosiu D., Casey A., Hultman E. (1994) The effect of oral creatine supplementation on skeletal muscle ATP degradation during repeated bouts of maximal voluntary exercise in man. *J Physiol (Lond)*: 478-84.
- Hill A., Lupton H. (1923) Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilization of oxygen. *Q J Med*, 16: 135-71.
- Hill D., Poole D., & Smith J. (2002). The relationship between power and the time to achieve $\text{VO}_{2\text{max}}$. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34: 709-714.
- Hill D., Steward R., and Lane C. (1995) Application of the Critical Power Concept to Young Swimmers. *Pediatric Exercise Science*, 7: 281-293.
- Housh DJ, Housh TJ, Bauge SM. (1990) A methodological consideration for the determination of critical power and anaerobic work capacity. *Res Q Exerc Sport*, 61: 406–409.
- Housh T., DeVries H., Housh D., Tichy M., Smyth K., Tichy A. (1991) The relationship between critical power and the onset of blood lactate accumulation. *J Sports Med Phys Fit* 31: 31-36.
- Housh T., Johnson G., McDowel S., Housh D. & Pepper M., (1989) The accuracy of critical power test for predicting time to exhaustion during cycle ergometry. *Ergonomics*, 32: 997-1004.
- Hughson R., Kowalchuk J., (1995) Kinetics of oxygen uptake for submaximal exercise in hyperoxia, normoxia, and hypoxia. *Can J Appl Physiol*, 20:198–210.
- Jenkins D., Quigley B., (1992) Endurance training enhances critical power. *Med Sci Sports Exerc*, 24: 1283–1289.
- Jones A. And Burnley M. (2009) Oxygen Uptake kinetics: An Underappreciated determinant of Exercise Performance. *International Journal of Sport Physiology and Performance*, Human Kinetics, 4: 524-532.

Jones A. and Poole D. (2005). Introduction to oxygen uptake kinetics and historical development of the discipline. In A. Jones & D. Poole (Eds) *Oxygen Uptake kinetics in Sport, Exercise and Medicine*, 03-35. Oxon: Routledge Edit

Jones A., Wilkerson D., DiMenna F., Fulford J., Poole D. (2008) Muscle metabolic responses to exercise above and below the “critical power” assessed using, P-MRS. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 294: 585–593.

Jonhson M., Sideri G., Weightman D., Appleton, D. (1973b) A comparison of fibre size, fibre type constitution and spatial fibre type distribution in normal human muscle and in muscle from cases of spinal muscular atrophy and from other neuromuscular disorders. *Journal of the Neurological Sciences*, 20(4): 345-361.

Krustrup P., Soderlund K., Mohr M., & Bangsbo J. (2004) Slow-Twitch Fiber Glycogen Depletion Elevates Moderate-Exercise Fast-Twitch Fiber Activity and O₂ Uptake. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36 (6): 973-982.

MacDonald M., Pedersen P., Hughson R. (1997) Acceleration of VO₂ kinetics in heavy submaximal exercise by hyperoxia and prior high-intensity exercise. *JAppl Physiol*, 83: 1318–1325.

Margaria et al. (1933) The possible mechanism of contracting and paying the oxygen debt and the role of lactic acid in muscular contraction. *Fatigue laboratory, Morgan Hall, Harverd University*, Boston, 689-715.

Margaria R. (1976) Biomechanics and energetics of muscular exercise. *Oxford University Press*, Oxford

Margaria R., Edwards H., Dill O. (1933) The possible mechanisms of contracting and paying the oxygen debt and the role of lactic-acid in muscular contraction. *Am J Physiol.*, 106: 689-715.

Markovitz G., Sayre J., Storer, T., Cooper C. (2004) On issues of confidence in determining the time constant for oxygen uptake kinetics. *Br J Sports Med.*, 38: 553–560.

- McLaughlin J., E., Howley E., T., Bassett D., R., Jr, Thompson D., L., Fithugh E., C., (2010) A test of the classic model for predicting endurance running performance. *Med Sci Sports Exerc* 42: 991–997.
- McLellan TM, Cheung KSY. (1992) A comparative evaluation of the individual anaerobic threshold and the critical power. *Med Sci Sports Exerc*, 24: 543–550.
- McNaughton L., Roberts S., Bentley D., (2005) Predicting performance in a short distance cycling time trial: effects of incremental exercise test design. *J Strength Cond Res*. 20: 157-61.
- Miura A., Kino F., Kajitani S., Sato H., Fukuba Y. (1999) The effect of oral creatine supplementation on the curvature constant parameter of the power-duration curve for cycle ergometry in humans. *Jpn J Physiol*, 49 (2): 169-74.
- Miura, A., Sato, H., Sato, H., Whipp, B., Fukuba, Y. (2000). The effect of glycogen depletion on the curvature constant parameter of the power-duration curve for cycle ergometry. *Ergonomics*, 43 (1), (133-41)
- Monod H., Scherrer J. (1965) The work capacity of a synergic muscular group. *Ergonomics* 8: 329–338.
- Moritani T., Nagata A., DeVries H., Muro M. (1981) Critical power as a measure of physical work capacity and anaerobic threshold. *Ergonomics* 24: 339-350.
- Morton R. (2006). The critical power and related whole-body bioenergetic models. *Eur J Appl Physiol*, 96 (4): 339-54.
- Morton R. (2006). The critical power and related whole-body bioenergetic models. *Eur J Appl Physiol*, 96(4): 339-54.
- Murgatroyd S., Ferguson C., Ward S., Whipp B., Rossiter (2011). Pulmonary O₂ uptake kinetics as a determinant of high-intensity exercise tolerance in humans. , 110(6): 598-606.
- Paterson D., & Whipp B. (1991) Asymmetries of oxygen uptake transients at the on- and offset of heavy exercise in humans. *Journal of Physiology*, 443: 575-586.

- Pepper M., Hosh, T. Jhonson, G. (1992) The accuracy of the critical velocity test for predicting time to exhaustion during treadmill running. *Int. J. Sports Med.*, 2: 121-124.
- Polgar J. Johnson M., Weightman D., Appleton, D.(1973a) Data on fibre size in thirty-six human muscles: An autopsy study. *Journal of the Neurological Sciences*, 19(3): 307-318.
- Poole D., Ward S., Gardner G., Whipp B. (1988). A metabolic and respiratory profile of the upper limit for prolonged exercise in man. *Ergonomics*, 31: 1265–1279.
- Poole D., Ward S., Whipp B. (1988b) Control of blood-gas and acid-base status during isometric exercise in humans. *JPhysiol (Lond)* 396: 365–377.
- Pringle J., Doust J., Carter H, et al., (2003) Oxygen uptake kinetics during moderate, heavy and severe intensity “submaximal” exercise in humans: the influence of muscle fibre type and capillarisation. *Eur J Appl Physiol*, 89: 289–300.
- Pringle J., Doust J., Carter H., Tolfrey K., Jones A. (2003) Effect of pedal rate on primary and slow-component oxygen uptake responses during heavy-cycle exercise. *J Appl Physiol*, 94: 1501–1507.
- Reis J., Alves F., Bruno P., Vleck V., & Millet G. (2011) Oxygen uptake kinetics and middle distance swimming performance. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 15(1), 58-63.
- Reis J., Alves F., Bruno P., Vleck V., & Millet G. (2012) Effects of aerobic fitness on oxygen uptake kinetics in heavy intensity swimming. *European Journal of Applied Physiology*, 112(5), 1689-97.
- Roberts C., Wilkerson D., & Jones A., (2005). Pulmonary O₂ uptake on-kinetics in rowing and cycle ergometer exercise. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 146: 2-3): 247-258.
- Rossiter H., et al. (2002) Dynamics of intramuscular ³¹P-MRS Pi peak splitting during exercise and the slow components of PCr and O₂ uptake. *J Appl Physiol* 93:2059-2069.

Saunders M., Evans E., Arngrimsson S., Allison J., Warren G., & Cureton K. (2000) Muscle activation and the slow component rise in oxygen uptake during cycling. *Med Sci Sports Exerc.* 32 (12): 2040-5.

Shinohara M., and Moritani T. (1992) Increase in neuromuscular activity and oxygen uptake during heavy exercise. *Ann. Physiol. Anthropol.* 11: 257–262.

Short K. & Sedlock D. (1997) Excess postexercise oxygen consumption and recovery rate in trained and untrained subjects. *J. Appl. Physiol.* 83(1), 153–159.

Smith J., Stephens D., Hall E., Jackson A., Earnest C. (1998) Effect of oral creatine ingestion on parameters of the work rate– time relationship and time to exhaustion in high-intensity cycling.

Smith J., Jones A. (2001) The relationship between critical velocity, maximal lactate steady-state velocity and lactate turnpoint velocity in runners. *European Journal Applied Physiology*, 85: 19-26.

Steward R., Lane C., Hill D. (1994) Application of the critical power concept to young swimmers. *Med Sci Sports Exerc* 26(5): 44.

Taylor H., Haskell W., Fox S. (1955) Maximal oxygen intake as an objective measurement of cardiorespiratory performance. *J Appl Physiol* 8: 73-80

Vanhatalo A., Doust J., Burnley M. (2007) Determination of critical power using a 3-min all-out cycling test. *Med Sci Sports Exerc.* 39: 548–555.

Wakayoshi R., Ikuta K., Yoshida T., Udo M., Moritani T., Mutoh Y., and Miyashita M. (1992a) Determination and validity of critical velocity as an index of swimming performance in the competitive swimmer. *Eur. J. Appl. Physiol*, 64: 153-157.

Wakayoshi R., Yoshida T., Udo M., Harada T., Moritani T., Mutoh Y., and Miyashita M. (1993) Does critical swimming velocity represent exercise intensity at maximal lactate steady state? *Eur. J. Appl. Physiol*, 66: 90-95.

Wakayoshi R., Yoshida T., Udo M., Kasai T. Moritani T., Mutoh Y., and Miyashita M. (1992b) A simple method for determining critical speed as swimming fatigue threshold in competitive swimming. *Int. J. Sports Med*, 13: 367-371.

Whipp B., Wasserman K. (1972). Oxygen uptake kinetics for various intensities of constant-load work. *J Appl Physiol*, 33 (3): 351-6.

Whipp B. (1994) The slow component of O₂ uptake kinetics during heavy exercise. *Med Sci Sports Exerc* 26: 1319-1326.

Whipp B. and Özyener F. (1998) The kinetics of exertional oxygen uptake: Assumptions and inferences. *Medicina Dello Sport* 51: 139-149.

Whipp B., Huntsman D., Stoner M., Lamarra N., Wasserman K. (1982) A constant which determines the duration of tolerance to high-intensity work. *Fed Pro.* 41: 1591.

Whipp B., Rossiter H. (2005) The kinetics of oxygen uptake. Physiological inferences from the parameters. In: Jones A., Poole D., eds. *Oxygen Uptake Kinetics in Sport, Exercise and Medicine*. London, New York: Routledge; 62–94.

Wilkerson D., Koppo K., Barstow T., Jones A. (2004) Effect of work rate on the functional gain of phase II pulmonary O₂ uptake response to exercise. *Respir Physiol Neurobiol*, 142: 211–223.

Wilkie D. (1960) Man as a source of mechanical power. *Ergonomics* 3: 1–8

Wilkie D. (1980) Equations describing power input by humans as a function of duration of exercise. In: Cerretelli P., Whipp B. (eds) *Exercise bioenergetics and gas exchange*. Elsevier/North Holland Biomedical Press, Amsterdam: 74–80.

Willmore J. & Costil D. (2008) *Physiology of sport and exercise*. USA: Human Kinetics.

Winlove M., Jone, A., & Welsman J. (2010). Influence of training status and exercise modality on pulmonary O₂ uptake kinetics in pre-pubertal girls. *European Journal of Applied Physiology*, 108(6): 1169-79.

Wright B., Smith D. (1994). A protocol for the determination of critical speed as an index of swimming endurance performance. In M. Miyashita Y., Mutoh A.,

Richardson B. (Eds), Medicine and Science in Aquatic Sports, *Med. Sport Science* 39: (pp.55-59). Karger, Basel.